

Artículo de Investigación

Sistema de tratamiento para aguas mieles producto del beneficio húmedo del café con *moringa oleifera* lam como bioadsorbente para el pequeño caficultor colombiano

The treatment system for honey water product of the wet processing of coffee with *moringa oleifera* lam as a bio adsorbent for the small Colombian coffee farmer

Juan Carlos Barreto Zúñiga

Magister en Ingeniería y Gestión Ambiental. Maestría en Ingeniería y Gestión Ambiental, Docente, Secretaría Educación Departamental del Huila
jcbarreto092783@gmail.com

Pavel Tovar Lizcano

Ecosistemas Estratégicos, investigador del Grupo Investigación Ecosistemas Surcolombianos (ECOSUC), Docente- Secretaría Educación Departamental del Huila.
paveltl@gmail.com

Alfredo Olaya Amaya

Dr. En Ingeniería Área Recursos Hidráulicos, Coordinador Grupo Investigación Ecosistemas Surcolombianos (ECOSUC), Universidad Surcolombiana.
alolaya@usco.edu.co

Fecha de envío: 11 de noviembre de 2018

Fecha de Revisión: 03 de febrero de 2019

Fecha de Aprobación: 28 de enero de 2020

DOI: 10.25054/22161325.1849

Resumen

Se pretende desarrollar un sistema de tratamiento para aguas mieles producto del beneficio húmedo del café, con el uso de *Moringa oleifera* Lam como bioadsorbente. Teniendo como referencia el Sistema de Tratamiento Modular Anaerobio (STMA) desarrollado por Cenicafé, se diseña y construye un sistema *in situ* en una pequeña finca cafetera en un municipio del departamento del Huila, Colombia. A este sistema se le analiza su funcionalidad y efectividad en el cumplimiento de la normatividad existente a partir del análisis de variables físicas y químicas del agua. Los resultados indican importantes tasas de remoción de contaminantes, así como también, la posibilidad de establecer este tipo de sistemas en pequeñas fincas cafeteras.

Palabras clave: Tratamiento de aguas mieles; *Moringa oleifera* Lam; bioadsorbente; pequeño productor de café.

Abstract

The aim is to develop a treatment system for honey water produced from the wet processing of coffee, with the use of *Moringa oleifera* Lam as a bio adsorbent. Taking as a reference the Modular Anaerobic Treatment System (STMA) developed by Cenicafé, an on-site system is designed and built in a small coffee farm in a municipality in the department of Huila, Colombia. This system is analyzed for its functionality and effectiveness in compliance with existing regulations based on the analysis of physical and chemical variables of the water. The results indicate important pollutant removal rates, as well as the possibility of establishing this type of system in small coffee farms.

Keywords: Honey water treatment; *Moringa oleifera* Lam; bio adsorbent; small coffee grower.

1. Introducción

En Colombia el cultivo de café genera más de un millón de empleos directos e indirectos, involucrando 563.000 familias de productores en 590 municipios del país, lo que representa el 36% del empleo agrícola, 12,5% del PIB agrícola que representa el 1,6% del PIB nacional (CONPES, 2006). De los productores mencionados, alrededor del 73% tiene unidades productivas cuya extensión no supera cinco hectáreas de terreno (50.000 metros cuadrados), es decir que en su conjunto es una actividad económica en la que predominan los pequeños productores (Federación Nacional de Cafeteros, 2016).

En el proceso tradicional del fruto, llamado “Beneficio Húmedo del Café” se considera que el 80% del fruto tienen poco o nulo valor económico, con un consumo de grandes cantidades de agua que oscilan en los 40 litros por kilogramo de café. Paralelo a este, existe un proceso ecológico denominado BECOLSUB cuyo consumo oscila en 5 litros de agua por kilogramo de café (Díaz, *et al.*, 2013; Vega y Martínez, 2011). Pero, además, el agua con que se realiza el beneficio húmedo del café resulta seriamente contaminada con la presencia de azúcares, pectinas, cantidades pequeñas de cafeína, taninos, ácido cloro génico, un pH ligeramente ácido y niveles elevados de demanda química de oxígeno (DQO) y demanda bioquímica de oxígeno (DBO) (García, 2015; Ramírez, *et al.*, 2015).

Lo descrito anteriormente, se constituye en un serio problema de contaminación para las fuentes hídricas en la región andina de Colombia, no sólo por los niveles de contaminantes que contienen las aguas usadas en el beneficio húmedo del café sino por la gran cantidad de unidades productivas que lo hacen. Es así y de acuerdo con Trejos, *et al.*, (2011) que lograr la sostenibilidad de los sistemas en términos de producción, competitividad y uso sostenible del recurso hídrico se constituye uno de los principales desafíos que enfrenta el sector cafetero colombiano.

En consecuencia, en Colombia el Centro Nacional de Investigaciones del Café CENICAFÉ ha desarrollado una tecnología para el tratamiento de aguas producto del beneficio húmedo del café llamado Sistema Modular de Tratamiento Anaerobio (SMTA) que después de varios ajustes ha mostrado buenos resultados en términos de remoción de la carga contaminante del agua (Zambrano, *et al.*, 2015); sin embargo, los altos costos de instalación, operación y requerimientos de personal capacitado para su funcionamiento lo hace apto para grandes unidades productivas e imposibilita su implementación en las fincas de caficultores cuyas extensiones de tierra no supera las 5 hectáreas.

Dentro de las alternativas para esta problemática Sala, *et al.*, (2010) proponen el uso de bioadsorbentes para el tratamiento de aguas debido a su fácil adquisición y bajos costos. De manera especial, diversos estudios han empleado la semilla de *Moringa oleifera* Lam como bioadsorbente, por ejemplo, Sandoval y Laines (2013), quienes analizaron su potencial de agente floculante, coagulante y adsorbente de contaminantes. A su vez, Gupta, *et al.*, (2007) describieron la capacidad de adsorción de las semillas de *Moringa oleifera* Lam en la eliminación de arsénico en

personas, mientras que Meneghel (2013) y Ledo. *et al.*, (2009) estudiaron su uso en la remoción de cadmio de agua contaminada y en el tratamiento de agua turbia. Luego, Mera, *et al.*, (2016) realizaron a nivel de laboratorio el tratamiento de aguas provenientes del beneficio húmedo del café con la semilla de *Moringa oleifera* Lam, y logran mostrar su posible efectividad para el tratamiento de aguas utilizadas en la caficultura colombiana.

Según lo anteriormente expuesto, se hace necesario desarrollar una alternativa “*in situ*” que aborde la problemática de la contaminación de las aguas provenientes del beneficio húmedo del café generada por los pequeños caficultores colombianos, dentro del marco del cumplimiento de la Resolución 0631 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2015) sobre vertimientos de actividades productivas de agroindustria y ganadería. Por lo tanto, la presente investigación tuvo como objetivo analizar la viabilidad técnica y operativa de un sistema de tratamiento para aguas mieles producto del beneficio húmedo del café con base en la semilla de *Moringa oleifera* Lam para el pequeño caficultor colombiano.

2. Materiales y Métodos

2.1. Área de estudio

La investigación se realizó en la finca Los Alpes, ubicada sobre los 1320 msnm en la vereda Ibirco a 3 kilómetros del área urbana del municipio de Iquira departamento del Huila Colombia. La selección de la finca se hizo teniendo en cuenta los siguientes criterios: primero, por su ubicación con respecto al Nevado del Huila que es un área natural protegida de importancia hídrica para los departamentos del Huila, Cauca y Tolima; segundo, por el vertimiento de sus aguas a la quebrada Ibirco que es una importante fuente hídrica para el consumo humano en el municipio; y tercero, por su tamaño, siendo una pequeña unidad productiva de café que no supera las tres hectáreas.

2.2. Diseño y construcción del sistema

El diseño parte del Sistema Modular de Tratamiento Anaerobio propuesto por Zambrano, *et al.*, (2010), teniendo en cuenta que los volúmenes de agua a tratar, para este caso, es de 649 litros por lavado de café, el tiempo de acción y la dosis del bioadsorbente.

La preparación de la semilla de *Moringa oleifera* Lam se realizó de acuerdo a Kumar, *et al.*, (2010); en consecuencia, la semilla es pelada, triturada, lavada y secada; mientras que, para calcular la cantidad a usar se tiene como referencia a Mera, *et al.*, (2016), quienes determinaron como dosis optima 4 gramos (g) de polvo de semilla por cada 600 ml de agua a tratar y un tiempo de acción de 48 horas. Entonces, para los 649 L se emplearon 4330 g de polvo de semilla de *Moringa oleifera* Lam; la anterior dosis de semilla fue empleada para hacer tres tratamientos consecutivos de aguas provenientes del beneficio húmedo del café.

2.3. Evaluación de parámetros físico químicos de las aguas provenientes del sistema de tratamiento con polvo de semilla de *Moringa oleifera* Lam

La toma, conservación y transporte de las muestras de agua se realizó teniendo en cuenta los estándares determinados por Instituto Nacional de Salud (2011); y los parámetros físico – químicos a medir son los requeridos en la Resolución 0631 del 17 de marzo del 2015 para vertimientos puntuales de aguas residuales no domésticas a cuerpos de aguas superficiales para la agroindustria que son: DBO₅, DQO, ST, pH, Sólidos Sedimentables, Aceites y Grasas, Fósforo Total, Nitrógeno Total y Color (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015).

3. Resultados y Discusión

3.1. Diseño y construcción del sistema

El diseño elaborado fue una adaptación de Zambrano, *et al.*, (2010) para la construcción y operación de un SMTA, este se realizó teniendo en cuenta las características de la unidad productiva, el bioadsorbente y el tiempo de acción de este para remover la carga contaminante y permitió el flujo de agua por gravedad (ver figura 1).

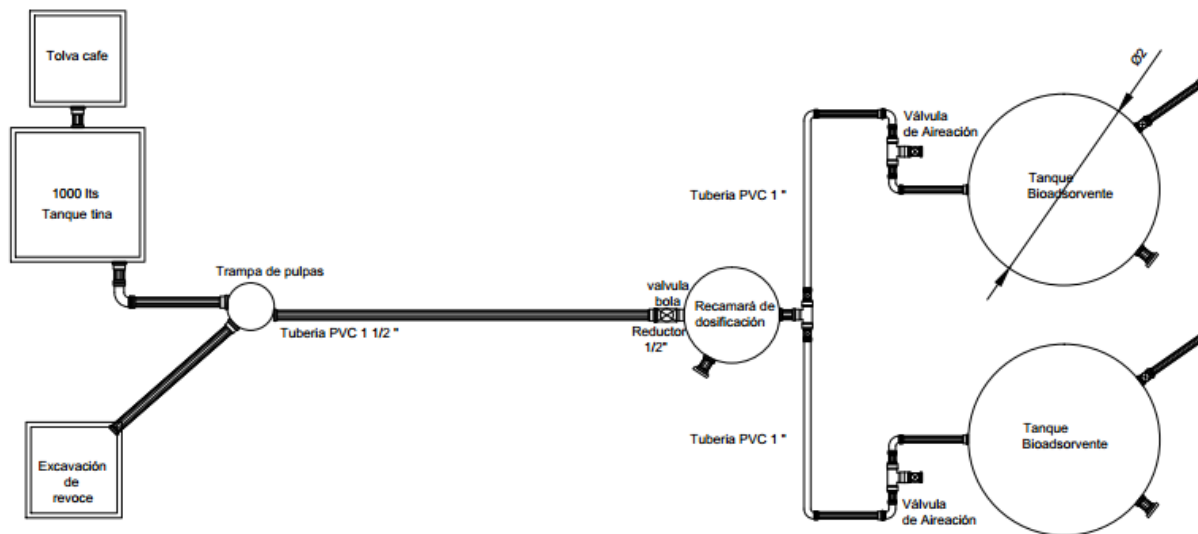


Figura 1. Diseño prototipo tratamiento de aguas usadas en el proceso del beneficio del café mediante el bioadsorbente *Moringa oleifera Lam*

Según como se evidencia en la figura 1, el sistema cuenta con las siguientes partes:

La trampa de pulpas (TP): es un tanque de 105 litros (L) que realiza la separación por densidad de las pulpas provenientes de la fermentación del café cereza y permite la separación de material de gran peso molecular por medio de un tubo con perforaciones de 7/32 pulgadas, posee una salida de control de rebose del sistema.

Excavación de rebose (ER): Es una excavación de medidas 100 x 100 x 100 centímetros (cm), rellena con tallos de soqueo de café, que permite el tratamiento natural del agua que se sale del prototipo por los reboses de seguridad.

La recámara de dosificación (RD): Es un tanque de 250 L de 60 cm de alto con una entrada al tanque tipo válvula flotador que regula la entrada del agua. Para la salida se tienen un tubo cuadrado en PVC, el cual en su desagua tiene una malla interna que actúa como tamiz. En consecuencia, la función de la RD es actuar como un doble filtro, que retiene los elementos de gran tamaño (Zambrano, *et al.*, 2006).

Válvula de aireación con disco perforado (VA): es una válvula en tubo PVC en forma de T con filtro tipo malla secaflex 4x4 que cumple la función de retención de partículas de mayor tamaño.

Tanque de Bioadsorbente (TB): A partir del pico de producción máxima que es de 625 kg de café cereza se estimó el volumen del TB en 750 L, dado que Zambrano, *et al.*, (2010) identificaron que por cada 625 Kg de se emplean 649 L de agua de lavado. En el TB se realiza la mezcla mecánica con una vara del agua a tratar con el polvo

del bioadsorbente, permitiendo la acción del polvo de semilla de *Moringa* por 48 horas (h) según lo estipulado por Mera, *et al.*, (2016). El TB tiene una conexión de salida de agua tratada a una altura de 15 cm del fondo con lo cual se evita que el polvo de bioadsorbente sedimentado se pierda y pueda ser usado en otro ciclo de lavado húmedo del café. Como el tiempo de acción del polvo de la semilla de *Moringa* es de 48 horas, el diseño planteó la instalación de dos TB, de manera que se pueda hacer otro lavado de cereza de café mientras se realiza el tratamiento y, en consecuencia, no parar la producción de unidad productiva.

3.2. Preparación del bioadsorbente *Moringa oleifera* Lam

La preparación del bioadsorbente se realizó de manera rudimentaria en un proceso que consiste en el pelado de la semilla de forma manual para luego triturlarla en un molino manual casero; posteriormente se realizó el lavado del polvo de *Moringa*, esta se sumergió en un recipiente con agua y rápidamente se retiró con la ayuda de un colador y subsecuentemente el secado del polvo se realizó de forma natural exponiéndola al sol en una bandeja de metal.

Según Mera, *et al.*, (2016), la dosis óptima de polvo de semilla de *Moringa oleifera* Lam es de 4 g para cada 600 mL de agua a tratar. Por ende, para la unidad productiva, que tiene un consumo máximo de 649 L, se emplearon 4330 g de polvo de semilla en cada tanque de bioadsorbente.

3.3. Toma de muestras

La toma de muestras de aguas se realizó en dos puntos, de la siguiente manera:

Muestra testigo: esta muestra es tomada a la salida del Tanque Tina y se compuso de cuatro submuestras de 250 mL. Esta muestra testigo se tomó para hacer los respectivos análisis físico - químicos y se constituye en el referente del agua no tratada.

Toma de muestras de agua tratada: luego de las 48 horas de tratamiento por el sistema, se tomaron las muestras de agua tratada a la salida de los TB. Se calculó que cada TB se desocupaba en 16 minutos, por lo tanto y con el ánimo de tener una muestra de agua lo más homogénea posible se tomaron 4 submuestras de 250 mL una cada 4 minutos mientras se desocupaba el TB, para luego llevar las muestras conservadas de tal manera que se preserven las propiedades fisicoquímicas del agua para realizar los análisis correspondientes en un laboratorio certificado ubicado en la ciudad de Neiva, Huila, Colombia.

3.4. Evaluación de la acción de la semilla de *Moringa oleifera* Lam como bioadsorbente en el tratamiento de aguas mieles producto del beneficio del café

La tabla 1 muestra los resultados de los parámetros de análisis físico-químicos exigidos por la normatividad colombiana, los cuales se agrupan entre aquellos que se ha determinado un límite de concentración y otros parámetros que no tiene dicho límite pero que si deben ser reportadas sus respectivas concentraciones.

Según la formula aplicada por Mera *et al* (2016) y Rentería *et al* (2014) (Ver ecuación 1), la DBO₅ presentó una disminución entre los 86% y 77%, lo que muestra la remoción de materia orgánica (MO) por parte del sistema de tratamiento.

$$\text{Ecuación 1.} \quad \% \text{ de remoción de DBO} = \frac{C_0 - C_1}{C_0} \times 100$$

De donde, % de remoción de DBO es el porcentaje de remoción de carga contaminante; C_0 es la carga contaminante inicial, C_1 carga contaminante final.

Es claro que la DBO_5 mostró una disminución importante en cada uno de los TB y se obtienen datos similares a los rangos reportados por Zambrano, *et al.*, (2015) con una disminución del 83% mediante el SMTA; sin embargo, no se logra cumplir con lo establecido en la normatividad. Dicha disminución de la DBO_5 puede estar relacionada con el efecto sedimentador de la MO reportada por Francisco *et al* (2014).

El sistema logró una disminución entre el 87% y 80% de la DQO, sin embargo, y como sucedió con la DBO_5 no se logra cumplir con lo exigido por la legislación; pero si es superior a lo reportado por Zambrano, *et al.*, (2015) quienes logran disminuciones máximas del 80% el SMTA, para esta clases de aguas; en consecuencia y a la luz de los resultados el sistema con bioadsorbente muestra una mayor eficacia.

En lo referente a las grasas y aceites los niveles de remoción entre 70% y 51%, aunque son importantes tampoco cumplen con la normatividad colombiana; en consecuencia, se sugiere realizar un ajuste a la altura del tubo de salida hacia la excavación de rebose ER, lo que puede repercutir también en una mayor disminución de la DBO_5 debido que a menor concentración de grasas hay una mayor actividad microbiana que contribuye a la oxidación de la MO (Lazcano, 2016).

Tal como se muestra en la tabla 1, el pH presenta una tendencia de carácter cada vez más ácido en la medida que se hacen nuevos tratamientos con el mismo bioadsorbente, esto se debe a la aglomeración de minerales reportada por Mera, *et al.*, (2016) como hierro, cobre, aluminio y azufre presentes en las aguas de café las cuales pueden afectar las poblaciones micro - biológicas del agua; de manera que el polvo de semilla de *Moringa oleifera* Lam no tiene un buen desempeño en la corrección del pH; es así, que se hace necesario realizar un ajuste cuyas alternativas son la adición de sustancias como son el óxido de calcio, sulfato de aluminio, e hidroxiclورو de aluminio que, según lo reportado por Romero, *et al.*, (2013), muestran buenos resultados neutralizando aguas con pH ácidos y de ese modo favorecer la acción del bioadsorbente y también mejorar los porcentajes de remoción de la DBO_5 .

En cuanto a los Sólidos Suspendidos el sistema cumple con lo exigido en la normatividad, logrando remociones entre los 92% y 85%, lo que concuerda con lo realizado por Cardoso, *et al.*, (2013), en el que se discute la acción precipitadora de *Moringa oleifera* Lam en aguas contaminadas. En relación con lo anterior, es importante señalar que los resultados de los sólidos sedimentables mostraron un incremento durante cada uno de los tres tratamientos que se hicieron en cada uno de los TB con el mismo bioadsorbente, de manera que los dos primeros tratamientos cumplen con lo requerido mientras que los dos últimos no lo hacen; lo que evidencia un fuerte poder sedimentador por parte de *Moringa oleifera* Lam que también fue reportado por João, *et al.*, (2014) y, en consecuencia, respecto a los sólidos sedimentables sólo sería posible realizar dos tratamientos con el mismo bioadsorbente.

Tabla 1. Resultados de parámetros de acuerdo a la resolución 0631 de 2015 en el sistema de tratamiento de aguas producto del beneficio del café con semilla de *Moringa oleifera* Lam.

Parámetros y Unidad de Medida	Muestra Testigo	Tanque 1 tratamiento (1)	Tanque 1 tratamiento (2)	Tanque 1 tratamiento (3)	Tanque 2 tratamiento (1)	Tanque 2 tratamiento (2)	Tanque 2 tratamiento (3)	Res. 0631
DBO ₅ (mg.L ⁻¹)	5800	826	1180	1280	852	1204	1306	400*
DQO (mg.L ⁻¹)	12200	1570	2390	2440	1625	2410	2412	650*
Grasas y aceites (mg/L)	41,4	12,6	18,4	15,1	13,70	20,40	15,70	10*
pH (Unidad)	3,9	3,93	3,81	3,52	3,81	3,54	3,42	5.0 - 9.0*
Sólidos Sedimentables(mL/L)	0	0,2	2,25	40	0,30	2,33	38,00	10*
Sólidos Suspendidos Totales (mg.L ⁻¹)	1470	112	122	222	120	135	225	400*
Color 436 nm (m ⁻¹)	57,1	5,17	5,82	5,73	6,23	6,92	6,85	análisis y reporte **
Color 620 nm (m ⁻¹)	42,3	2,87	3,71	3,61	3,20	3,90	4,10	análisis y reporte **
Fósforo total (mg/L)	110	17,5	22,1	32,3	18,30	22,10	31,20	análisis y reporte **
Nitrógeno total (mg/L)	9	8	21	17,6	8,45	19,80	20,70	análisis y reporte **
		*: establecido	**: no establecido					

Es claro que el efecto sedimentador de *Moringa oleifera* Lam influye sobre la disminución del color que a la luz de los resultados presentan disminuciones entre el 88% y 91%, para 436 nm y entre 90% y 93% para 620 nm; este parámetro junto con fosforo total y nitrógeno total, aunque son solicitados en la legislación, no se tienen establecidos los rangos de aceptación.

Para el parámetro fosforo total los porcentajes de remoción presentados fueron entre el 71% y el 84%, durante los tres tratamientos, lo cual se puede constituir en una cantidad importante de remoción para un parámetro que influye de manera directa en la eutrofización de las aguas (Lazcano, 2016).

En cuanto al nitrógeno total, se obtuvo un comportamiento de aumento en la concentración en la medida que se hacen más tratamientos con el mismo bioadsorbente, esto puede ser consecuencia de dos factores, uno de estos del nitrógeno proveniente de la composición de la semilla de *Moringa oleifera* Lam que según Rondón *et al* (2017) es del 7,7%, y el otro factor de la MO sedimentada por acción misma del sistema. Entonces se podrían tener dos posibilidades en lo relacionado al nitrógeno, la primera sería el de limitar el uso de la misma carga de bioadsorbente

a dos tratamientos o la segunda que sería combinar con un sistema secundario con plantas macrófitas como el que propone Zambrano, *et al.*, (2015).

3.5. Análisis de operación del sistema de tratamiento

Los costos de instalación del sistema de tratamiento de aguas mieles producto del beneficio húmedo del café con el bioadsorbente *Moringa oleifera* Lam fueron estimados en 447 dólares (USD) a septiembre de 2017. En el ámbito técnico se encontró que la operación del sistema que consiste en la preparación de la semilla, la manipulación de llaves de paso y limpieza de los residuos en los TB no requiere mano de obra calificada, lo cual es un factor muy importante en la viabilidad de un sistema de tratamiento de aguas; además, el sistema puede entrar en funcionamiento inmediatamente después de instalado o de hacer la limpieza.

4. Conclusiones

Esta investigación quiso llevar a campo el desarrollo de un sistema de tratamiento de aguas mieles producto del beneficio húmedo del café con base en la semilla de *Moringa oleifera* Lam, de manera que pueda ser un paso adelante en el desarrollo de tecnologías sostenibles que permitan mitigar el efecto contaminante para las fuentes hídricas por parte de la industria cafetera colombiana.

De los resultados sobresale, que las aguas provenientes del sistema de tratamiento a pesar de no cumplir a cabalidad con las concentraciones de las variables físico químicas analizadas y exigidas por la ley, las remociones de las cargas contaminantes son muy importantes y equiparables con otros tipos de tratamientos realizados en laboratorio, lo que denota su posible aplicación en pequeñas unidades productivas cafeteras. Además, los bajos costos de implementación y su fácil operación se convierten en otros aspectos a favor de su posible implementación si se compara con sistemas desarrollados como el SMTA desarrollados por Zambrano, *et al.*, (2015).

Otro aspecto relevante es que los desechos obtenidos en los TB pueden ser aprovechados como abono orgánico por el caficultor mediante procesos de compostaje o lombricultura, gracias a su alto contenido de nitrógeno (Olson, *et al.*, 2011), contribuyendo al desarrollo de una agricultura sostenible.

El sistema propuesto tiene la necesidad de emplear grandes cantidades de semilla lo que puede ser una dificultad en su implementación; sin embargo, dicha dificultad puede ser superada con la siembra de árboles de *Moringa oleifera* Lam en la misma unidad productiva u otras unidades con mejores condiciones edafoclimáticas y por ese conducto instaurar en una alternativa económica como lo expresa Olson, *et al.*, (2011) al concluir que se trata de una especie con múltiples usos, es necesario de realizar estudios sobre el cultivo de ésta en las condiciones climáticas y edáficas en las cuales se encuentran los cultivos de café debido a las características propias del cultivo de la planta.

El sistema propuesto no tuvo en cuenta tratamientos conexos como puede ser el empleo de biojardineras (módulo terciario para mitigar la carga contaminante en aguas, gracias al uso de plantas macrófitas) que podrían contribuir al mejoramiento de la calidad el agua. Este aspecto junto con una posible corrección previa del pH puede ser objeto de nuevas investigaciones que propicien un uso eficiente y sostenible de los recursos naturales para el bienestar de las generaciones futuras principalmente de las regiones cafeteras de Colombia.

5. Referencias bibliográficas

- Cardoso, K., Konradt, L., Carvalho, M., Pereira, F., y Bergamasco, R. (2013). Coagulation diagram using the Moringa oleifera Lam and the aluminium sulphate, aiming the removal of color and turbidity of water. *Acta Scientiarum. Technology*, 35 (3), 485-489.
- Conpes. (2006). Concepto favorable para el otorgamiento de la garantía de la nación a Finagro para contratar un empréstito externo con el gobierno español para financiar parcialmente el programa “Fortalecimiento de la calidad de café en Colombia” Bogotá Colombia.
- Díaz, S., Vesga, E., y Vega, H. (2013). Identificación del manejo de subproductos del beneficio del café en las fincas localizadas en la parte alta de la microcuenca La Sancotea, Vereda Alto de Reinas, Socorro-Santander. *El Centauro*, 5(8), 19-30.
- Federación Nacional de Cafeteros. (2016). La Gente del Café. Recuperado de http://www.cafedecolombia.com/particulares/es/la_tierra_del_cafe/la_gente_del_cafe/
- Francisco, J., Silva, J., Roque, O., Nasenses, A., y Silva, L. (2014). Evaluation of the effect of the seed extract of *Moringa oleifera lam* over the efficiency of organic filters in wastewater treatment of dairy cattle breeding. *Engenharia Agrícola*, 34 (1), 143-152. <https://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162014000100015>
- García, J. (2015). Aplicación del método Winkler como sustitución de la respirometría en la determinación de la demanda bioquímica de oxígeno en efluentes del proceso de beneficiado húmedo de café (Trabajo de grado). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
- Gupta, K., Fladd, W., y Tonikian, S. (2007). Ubiquitination screen using protein microarrays form comprehensive of Rsp5 substrats in yeast. *Molecular Systems Biology*, 3, 116. <http://doi.org/10.1038/msb4100159>
- Instituto Nacional de Salud. (2011). Manual de instrucciones para la toma, preservación y transporte de muestras de agua de consumo humano para el análisis de laboratorio. Bogotá.
- Kumar, D., Seshaiyah, K., Reddy, A., Rao, M., y Wang, M. (2010). Biosorption of Pb²⁺ from aqueous solutions by Moringa oleifera bark: Equilibrium and kinetic studies. *Journal of Hazardous Materials*, 174(1), 831–838. <https://doi.org/doi:10.1016/j.jhazmat.2009.09.128>
- Lazcano, C. (2016). Biotecnología Ambiental de Aguas y Aguas Residuales. 2ª ed. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Peru.
- Ledo, P., Lima, R., y Duarte, M. (2009). Estudio comparativo de sulfato de aluminio y semillas de Moringa oleífera para la depuración de aguas con baja turbiedad. *Información tecnológica*, 20(5), 3-12. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642009000500002>
- Meneghel, A. (2013). Smart materials for waste water applications. *Applications*, 4-25
- Mera, C., Gutierrez, M. L., Montes, C., y Paz, J. (2016). Efecto de la moringa oleífera en el tratamiento de aguas residuales en el Cauca, Colombia. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 14(2), 100-109. [https://doi.org/10.18684/BSAA\(14\)100-109](https://doi.org/10.18684/BSAA(14)100-109)

- Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible. (17 de marzo de 2015). Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones. (Resolución 631 de 2015). Diario Oficial No. 49.486 de 18 de abril de 2015.
- Olson, M., & Fahey, J. (2011). Moringa oleífera: un árbol multiusos para las zonas tropicales secas. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 82 (4), 1071-1082.
- Ramírez, C., Oliveros, C., y Sanz, J. (2015). Manejo de lixiviados y aguas de lavado en el proceso de beneficio húmedo del café. *Cenicafé*, 66(1), 46-60.
- Romero, I., Gonzales, R., Arriaga, M., Aranda, J., y Barro, G. (2013). Clarificación de agua del arroyo el Hueque de Poza Rica, utilizando cal, sulfato de aluminio e hidroxiclورو de aluminio. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 9(1), 1-10.
- Rondón, M., Díaz, Y., Rodríguez, S., Guerra, B., Fernández, E., y Tabio, D. (2017). Empleo de semillas de Moringa oleífera en el tratamiento de residuales líquidos. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 38(2), 87-101.
- Sala, L., García, S., González, J., Frascaroli, M., Bellú, S., Mangiameli, F., y Salas, J. (2010). Biosorción para la eliminación de metales pesados en aguas de desecho. *Química y Medio Ambiente*, 106(2), 114-120.
- Sandoval, M., y Laines, J. (2013). Moringa oleífera una alternativa para sustituir coagulantes metálicos en el tratamiento de aguas superficiales. *Ingeniería*, 17(2), 93-101
- Trejos, J., Serna, C., Cruz, G., y Calderón, P. (2011). Ventajas sociales y ambientales de la adopción de la Norma de Agricultura Sostenible en dos regiones cafeteras de Colombia. *Cenicafé*, 62(2), 111-131.
- Vega, H. y Martínez, H. (2011). Adaptación del SMTA al tratamiento de aguas residuales del beneficio ecológico del café con la tecnología BECOLSUB. *El Centauro*, (1), 1-11.
- Zambrano F., Rodriguez V., Orozco R., y Lopez P. (2015). Evaluación de un reactor metanogénico tipo filtro anaeróbico de flujo ascendente para tratar aguas mieles del café. *Revista Cenicafé* 66(1): 32-45
- Zambrano, F., Rodríguez, N., López, U., y Zambrano, G. (2010). Construya y opere su sistema modular de tratamiento anaerobio para las aguas mieles. Chinchiná, Colombia. 35 p.
- Zambrano, F., Rodríguez, N., López, U., Orozco, P., y Zambrano, G. (2006). Tratamiento anaerobio de las aguas mieles del café, Boletín técnico No 29. Chinchiná, Colombia. Cenicafé. 28 p.

La Revista Ingeniería y Región cuenta con la Licencia
Creative Commons Atribución (BY), No Comercial (NC) y Compartir Igual (SA)

