

Ensayo de coagulantes naturales extraídos de *Ipomoea incarnata* y *Moringa oleífera* en la depuración de aguas residuales industriales en Cartagena de Indias

Test of natural coagulants extracted from *Ipomoea incarnata* and *Moringa oleífera* in the purification of industrial wastewater in Cartagena de Indias

Nancy Cristina Cabrera¹, Edenia Del Pilar Simancas Vásquez², Ariel Rafael Hernández Julio³

¹Bióloga con énfasis en Ecología, Especialista en Sistemas de Información Geográfica, Candidata a Magister en Ciencias Ambientales de la Universidad de Cartagena, Cartagena de Indias, Colombia

²Tecnóloga en gestión ambiental industrial. Estudiante de Ingeniería Ambiental de la Fundación Universitaria Tecnológico Comfenalco. Grupo de investigación ambiental GIA, Cartagena de Indias, Colombia

³Tecnólogo en gestión ambiental industrial. Estudiante de Ingeniería Ambiental de la Fundación Universitaria Tecnológico Comfenalco. Grupo de investigación ambiental GIA, Cartagena de Indias, Colombia

Email: ncabrera@tecnológicocomfenalco.edu.co

Recibido: 7/09/2017

Aceptado: 30/06/2018

Cite this article as: N. C. Cabrera, E. P. Simancas-Vasquez, A. R. Hernández-Julio "Test of natural coagulants extracted from *Ipomoea incarnata* and *Moringa oleífera* in the purification of industrial wastewater in Cartagena de Indias", *Prospectiva*, Vol 16, N° 2, 94-99, 2018.

RESUMEN

El agua residual industrial posee características que deben ser tratadas debido a la presencia de impurezas como sólidos suspendidos, microorganismos, materia orgánica, minerales y otros. Una de las opciones consideradas para poder alcanzar altos niveles de calidad del agua tratada y desempeño del proceso es el uso de los coagulantes. En la actualidad, los más comunes para el tratamiento de aguas son compuestos inorgánicos que generan grandes desventajas asociadas a altos costos e impactos ambientales. Por lo anterior dentro de esta investigación se evaluaron los coagulantes naturales de *Ipomoea incarnata* y *Moringa oleífera* a partir del método de extracción soxhlet, frente a los coagulantes convencionales en aguas residuales industriales de Sentinas y de Curtiembre las cuales generan consecuencias que afectan directamente los cuerpos de agua a las cuales se vierten, obteniéndose resultados que confirman que la *Ipomoea incarnata* y *Moringa oleífera* se pueden utilizar como posibles alternativas de origen natural en la depuración de aguas residuales industriales, ya que además de garantizar la eficiencia de remoción de turbidez, presentan características de biodegradabilidad que lo convierten en una alternativa viable desde el punto de vista ambiental.

Palabras clave: Aguas residuales; Coagulación; *Ipomoea incarnata*; *Moringa oleífera*; Método soxhlet; Prueba de jarras; Turbiedad.

ABSTRACT

Industrial wastewater needs to be treated due to the presence of impurities such as suspended solids, microorganisms, organic matter, minerals and others. One of the use of coagulants is one of the considered options to reach high levels of treated water quality and process performance is the use of coagulants. At present, the most common for water treatment are inorganic compounds that generate great disadvantages associated with high environmental costs and impacts. Therefore, within this research, the natural coagulants of *Ipomoea incarnata* and *Moringa oleífera* were evaluated using the soxhlet extraction method, compared to the conventional coagulants in industrial wastewater from ship sample and tannery, which generate consequences that directly affect of water sources to which they are discharged, obtaining results that confirm that *Ipomoea incarnata* and *Moringa oleífera* can be used as possible alternatives of natural origin in the purification of industrial wastewater, since also to guaranteeing the efficiency of removal of turbidity, they present characteristics of biodegradability that make it a viable alternative from the environmental point of view.

Key words: Wastewater; Coagulation; *Ipomoea incarnata*; *Moringa oleífera*; Soxhlet method; Jar test; Turbidity.

1. INTRODUCCIÓN

La generación de aguas residuales es una consecuencia inevitable de las actividades humanas. Estas actividades modifican las características de las aguas de partida, contaminándolas e invalidando su posterior aplicación para otros usos, debido a que posee características que deben ser tratadas debido a la “presencia de impurezas como sólidos suspendidos, materiales colorantes, microorganismos, materia orgánica, gases disueltos, minerales entre otros” [1], por lo cual, los tratamientos en las aguas residuales resultan indispensables para garantizar la disponibilidad de este recurso.

En Colombia, la principal fuente de contaminación hídrica es la evacuación directa de aguas residuales, ya sea proveniente de las residencias, fábricas, minas y demás actores contaminantes, siendo la principal fuente la extracción de materia prima en el ganado bovino, del cual se obtiene la piel y el cuero utilizado en el proceso productivo de las industrias curtientes [2], en donde durante el desarrollo del proceso se generan aguas residuales que presentan altos niveles de alcalinidad, sólidos disueltos y suspendidos, metales pesados como el cromo trivalente y hexavalente, pH elevados, aceites y grasas y altas demandas de DBO₅ y DQO [3]. Es por ello que existen variadas sustancias y métodos para la clarificación del agua tanto en el proceso de potabilización como para plantas de tratamiento para aguas residuales; dentro de estos tratamientos se incluyen los procesos de coagulación, floculación y sedimentación.

El proceso de coagulación consiste en la formación de pequeñas partículas mediante la adición de un coagulante al agua y la aplicación de energía de mezclado, que desestabiliza las partículas suspendidas por neutralización de las cargas de coloides cargados negativamente [1] en donde se utiliza frecuentemente coagulantes inorgánicos, que en su mayoría alteran las propiedades fisicoquímicas del agua.

Una de las opciones consideradas para poder alcanzar altos niveles de calidad del agua tratada y desempeño del proceso es el uso de los coagulantes alternativos que han surgido en las últimas décadas.

En la actualidad, “los más comunes para el tratamiento de aguas son compuestos inorgánicos de aluminio o hierro como el sulfato de aluminio, aluminato de sodio, sulfato ferroso, sulfato férrico y cloruro férrico” [1]; sin embargo, estos compuestos químicos son arrastrados durante la sedimentación de los lodos ya que estos están constituidos por dichas sustancias que alteran los procesos naturales presentes en las fuentes de aguas a las cuales son vertidos”, [4, 5] lo cual se convierte en un problema ambiental, ya que en altas dosis pueden llegar a ser tóxicos. No obstante, al inicio de los años setenta, en varios países latinoamericanos se propuso

utilizar coagulantes naturales extraídos de especies vegetales o animales nativos” [6,7], como alternativa a los coagulantes convencionales utilizados.

Investigaciones realizadas reportaron que las semillas de la planta *Moringa oleifera* presenta propiedades coagulantes que no induce a cambios significativos de los valores de pH y conductividad del agua después de su tratamiento [8, 9-15]. Asimismo, se reportaron investigaciones para aguas efluentes de las industrias textiles en la India donde se reporta que la *Ipomoea dasycarpa* del género *Ipomoea* [11], podrían proporcionar un método sostenible de efluente de tratamiento, siendo de bajo costo y fácilmente disponibles en países en desarrollo puesto que pueden ser localmente cultivados, cosechados y procesados, que tienen el potencial para ser rentable en comparación con los productos químicos importados. Los coagulantes naturales pueden ser alternativas viables a polielectrolitos sintéticos, ya que son biodegradables, seguros para la salud humana y tienen un rango de dosis efectiva más amplio para la floculación de varias suspensiones coloidales [9, 12].

Debido a lo anterior se evaluaron los coagulantes naturales obtenidos a partir de *Ipomoea incarnata* y *Moringa oleifera* para la depuración de aguas residuales industriales en Cartagena de Indias. Para ello se sometieron a procesos físicos y químicos de extracción por medio del equipo soxhlet donde se extrajo el musilago de las especies de plantas *Ipomoea incarnata* y *Moringa oleifera*, para así corroborar la eficiencia de remoción de turbidez de los coagulantes extraídos de plantas con respecto a los coagulantes convencionales utilizados para la depuración de aguas residuales industriales.

2. METODOLOGÍA

Para evaluar los coagulantes naturales obtenidos de las semillas de *Ipomoea incarnata* y *Moringa oleifera* con respecto a los coagulantes convencionales utilizados para la depuración de aguas residuales industriales, se siguieron las siguientes etapas:

2.1 Toma de muestra

Para la recolección de las semillas de *Ipomoea incarnata* se determinaron tres (3) sustratos: María La Baja, El Rodeo, Mamonal [13], para muestrear y obtener información de la especie. Para la obtención de semillas de *Moringa oleifera* se seleccionaron los lugares: Manzaniello del mar, Villa Grande y Soplaviento como zonas de recolección para muestrear y obtener información de la especie.

En cuanto a las muestras de agua se seleccionaron tres (3) tipos de agua residual: 1. Agua preparada en el laboratorio a partir de muestras de suelo provenientes de la Isla de Tierra Bomba ubicada en el departamento de Bolívar. Para la preparación de la solución se disolvió la muestra de suelo en 6 litros de agua. 2. Aguas de sentinas y 3. Agua derivada de curtiembres.

2.2 Análisis de muestras

Preparación de la semilla. Se obtuvieron semillas de *Ipomoea incarnata* y *Moringa oleifera*, las cuales se retiraron manualmente de las vainas secas no poseen ninguna actividad de coagulación [4]. Las semillas colectadas se secaron durante una hora en un horno a 105 °C, y se trituraron, hasta obtener un polvo fino [14].

Extracción del coagulante. Se extrajo musilago de la semilla *Ipomoea incarnata* y *Moringa oleifera*, durante 24 horas con *n*-hexano en un extractor tipo Soxhlet [5].

Prueba de jarras. Para evaluar los coagulantes, se procedió a realizar una prueba de jarras con los siguientes coagulantes para determinar la eficiencia de remoción de turbidez, los cuales son:

1. Sulfato de aluminio ($Al_2(SO_4)_3$)
2. Sulfato de cobre ($CuSO_4$)
3. Sulfato de hierro III ($Fe_2(SO_4)_3$)
4. Sulfato de hierro II ($FeSO_4$)
5. *Ipomoea incarnata*
6. *Moringa oleifera*

Se procedió a medir la turbiedad de la muestra a analizar, la cual se distribuyó en 6 beakers de 1000 mL. A cada muestra se le añadió un coagulante diferente con la misma concentración de 50 mg/L, solución determinada para el ensayo mediante el pesado de 50 mg del coagulante disolviéndolo en 1 litro de agua destilada, posteriormente se colocaron los beakers en el aparato de test de jarras a 200 rpm durante 1 minuto para la mezcla rápida. Después se disminuyó la velocidad a 45rpm durante 15 minutos. Consecutivamente se detuvo el agitador y se dejó sedimentar durante 15 minutos. Por último, se midió la turbiedad final en cada una de las jarras, utilizando el turbidímetro marca Velt TB1, previamente calibrado y se determinó el coagulante con mayor eficiencia de remoción. Asimismo, se midió el pH de cada muestra, utilizando el peachímetro marca STARTER300 [15].

2.3 Análisis de los resultados

Para el análisis de los datos, se tabularon en el software Excel con el fin de visualizar la eficiencia de remoción de turbidez obtenida por los diferentes coagulantes.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como se muestra en la tabla 1, el componente principal de la mezcla de alcaloides es la amida de ácido D- lisérgico, principio activo de las plantas de la familia convulvulaceae [15].

Tabla 1. Propiedades coagulantes de la *Ipomoea incarnata*.
Table 1. Coagulant properties of *Ipomoea incarnata*.

Alcaloides	<i>Ipomoea incarnata</i> % de concentración
Amida de ácido D-lisérgico(ergina)	0.031
Amida del ácido d-isolisérgico (isoergina)	0.004
Chanoclavina	0.005
Elimoclavina	0.005
Lisergol	0.001
Ergometrína	0.005

Fuente: Martínez C.; Hernández A; Simancas E.; Ayala J.; Carraballo K; Coagulantes naturales extraídos de *Ipomoea incarnata* en el tratamiento de aguas residuales industriales en Cartagena de Indias. Scientia et technical, 22 (1); 109-113.

También se identificaron ciertas clavinas como la elimoclavina y el lisergol con valores de 0.005 y 0.001 % respectivamente.

En cuanto a la *Moringa oleifera* se ha encontrado a través de la literatura que el componente activo de la semilla que causa la coagulación del agua es una proteína soluble que actúa en el proceso como un polielectrolito catiónico natural [16].

Para evaluar los coagulantes extraídos de las plantas *Ipomoea incarnata* y *Moringa oleifera* se estudiaron los parámetros pH y turbidez, los cuales permiten determinar hasta qué punto se debe tratar el agua para que cumpla con las condiciones establecidas según la norma 0631 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* (lo que se garantiza en los procesos de coagulación, floculación y sedimentación), en las diferentes muestras de agua residual industrial a analizar.

A partir de allí, se determinaron las características fisicoquímicas del agua residual preparada en el laboratorio obteniendo una turbiedad inicial de 920 NTU y un pH de 8,31. Al aplicar la prueba de jarras y la dosis propuesta de coagulante se observó que los coagulantes naturales, *Ipomoea incarnata* y *Moringa oleifera* lograron alcanzar un porcentaje de remoción de turbidez en un 99,18% y 99,29% respectivamente, en comparación con los coagulantes convencionales como se muestra en la tabla 2.

Tabla 2. Condiciones finales del agua artificial.
Table 2. Final conditions of water artificially prepared.

Coagulantes	pH Final	Turbidez Final (NTU)	% de remoción
Sulfato de aluminio ($Al_2(SO_4)_3$)	7,71	8,62	99,06
Sulfato de cobre ($CuSO_4$)	7,77	17,86	98,06
Sulfato de hierro III ($Fe_2(SO_4)_3$)	7,63	8,17	99,11
Sulfato de hierro II ($FeSO_4$)	7,85	12,07	98,69
<i>Ipomoea incarnata</i>	7,96	7,51	99,18
<i>Moringa oleífera</i>	7,99	6,54	99,29

Asimismo, en la tabla 2 se muestra el comportamiento del pH de los distintos coagulantes, datos que se obtuvieron a partir de promedio de diferentes repeticiones en la misma muestra, se observa que el coagulante a base de *Moringa oleífera* e *Ipomoea incarnata* tienden a mantener el valor inicial del pH del agua (7,99 y 7,96 respectivamente), mientras que la muestra de agua tratada con sulfato de aluminio bajo el pH (7,71).

De igual manera, se tomó como muestra de agua residual industrial las aguas de sentinas provenientes de los buques. Esta muestra fue tomada en una planta de tratamiento compacta que se encarga de recuperar el aceite que contienen estas aguas.

Dentro de las características fisicoquímicas presentó una turbidez inicial de 20 NTU y un pH de 8,34.

La tabla 3 muestra las condiciones finales de los valores obtenidos a partir de un promedio realizado a la misma muestra del agua de sentinas después de haber sido tratada con los diferentes coagulantes. En general, se observa que los coagulantes de origen natural *Ipomoea incarnata* y *Moringa oleífera* presentaron mayor porcentaje de remoción de turbidez en comparación con los coagulantes químicos, siendo estos de 77,25% y 81,35% respectivamente. Además, se logró observar que los coagulantes naturales ayudaron a la remoción del color que presentaba esta muestra de agua.

Dentro de los coagulantes químicos el que presentó mayor porcentaje de remoción fue el sulfato de aluminio con un valor de 70,45% que equivale a una turbidez final de 5,91 NTU, asimismo se presentó una turbidez de 19,6 UNT (sulfato de cobre ($CuSO_4$)) siendo el menor valor obtenido bajo las condiciones planteadas.

También se presentan los valores promedios de pH medido en la muestra de agua de sentinas donde se observa que los coagulantes químicos tienden a bajar este parámetro.

Tabla 3. Condiciones finales del agua de sentinas.
Table 3. Final conditions of water from ships.

Coagulantes	pH Final	Turbidez Final (NTU)	% de remoción
Sulfato de aluminio ($Al_2(SO_4)_3$)	6,98	5,91	70,45
Sulfato de cobre ($CuSO_4$)	6,93	19,63	1,85
Sulfato de hierro III ($Fe_2(SO_4)_3$)	6,89	4,91	75,45
<i>Ipomoea incarnata</i>	6,9	4,55	77,25
<i>Moringa oleífera</i>	7,09	3,73	81,35

Cabe recalcar que en el caso del agua de sentinas no se tomaron resultados del sulfato de hierro II ($FeSO_4$) debido que hubo inconsistencias con el instrumento de medición.

En cuanto a la muestra de agua de curtiembre se determinó una turbidez inicial de 786 NTU y un pH de 13,05. Siendo este último un parámetro importante debido a que puede “afectar la eficacia del proceso de coagulación, debido a que influye directamente en el proceso de clarificación del agua, porque permite determinar las condiciones óptimas para lograr la formación de flóculos capaces de precipitar. Además, se sabe que el alumbre es efectivo como coagulante, específicamente cuando el agua a tratar tiene un pH entre 5,5 y 8 [12]” y que el coagulante extraído de la moringa se encuentra alrededor del pH óptimo (6,5) [9].

Evidenciando lo anterior en la tabla 4 donde se muestra que se obtuvieron rangos de remoción de turbidez muy bajos, tanto para los coagulantes naturales como para los convencionales.

Tabla 4. Condiciones finales del agua de curtiembre.
Table 4. Final conditions of water tannery.

Coagulantes	pH Final	Turbidez Final (NTU)	% de remoción
Sulfato de aluminio ($Al_2(SO_4)_3$)	12,89	759	3,44
Sulfato de cobre ($CuSO_4$)	12,92	547	30,41
Sulfato de Hierro III ($Fe_2(SO_4)_3$)	12,95	541	31,17
Sulfato de hierro II ($FeSO_4$)	12,95	367	53,31
<i>Ipomoea incarnata</i>	13,03	745	5,22
<i>Moringa oleífera</i>	12,89	750	4,58

Los resultados obtenidos de turbiedad en las muestras de agua indican que los coagulantes naturales presentan una capacidad de remoción similar a los compuestos inorgánicos de aluminio o hierro por lo que resultan como una excelente alternativa en la remoción de turbiedad en aguas residuales industriales, resultados que coincide con Sandoval (2013) [17], demostrando la efectividad de la semilla de *Moringa oleífera* obteniendo un porcentaje de remoción con valores superiores al 90%, lo que se constituye como un método de tratamiento competitivo con las sales metálicas de sulfato de aluminio, abriendo posibilidades de sus-

titulación de este coagulante químico por los efectos a la salud que genera su utilización.

Sin embargo, al evaluar la muestra de agua de curtiembres se observaron rangos de remoción de turbidez muy bajos, lo que se debe a que la muestra de agua era del proceso de descarte con alto contenido de cal (pH de 13,05), parámetro que influye directamente en el proceso de coagulación, de acuerdo con Díaz (2014) [9] la efectividad del coagulante natural es ligeramente influenciado por el pH evidenciándose este en la muestra de curtiembre.

De manera general estos resultados confirman que la *Ipomoea incarnata* y *Moringa oleífera* se pueden utilizar como posibles alternativas de origen natural en la depuración de aguas residuales industriales, ya que no sólo garantizan la eficiencia de remoción de turbidez en el proceso de coagulación, “sino que además tienen un valor agregado relacionado con las características de biodegradabilidad que lo convierten en una alternativa viable desde el punto de vista ambiental” [18], debido a que no los lodos generados por los coagulantes de origen natural son biodegradables [12], caso contrario con los coagulantes convencionales, según Ndabigengesere y col. (1998) [4], el uso de coagulantes convencionales como el sulfato de aluminio aumenta la generación de lodos residuales con alta carga contaminante.

Además, se evidenció efectos en el cambio del pH en las muestras de agua residual industrial, debido a que el uso de sales de hierro y aluminio producen un descenso de este parámetro como lo señala Flórez (2010) [9] por lo que es necesario adicionar grandes cantidades de estabilizadores de pH en el proceso de tratamiento del agua residual para establecer los valores permisibles por la norma 0631 de 2015. Sin embargo, para los datos relaciones con el pH en las muestras con coagulantes naturales, se demuestra la estabilidad para este parámetro, lo que resulta una gran ventaja de los coagulantes extraídos de *Ipomoea incarnata* y *Moringa oleífera*, debido a que no afectan considerablemente las características originales de la muestra, datos que corroboran los resultados de Díaz (2014) [9], que menciona que el pH de las muestras tratadas con coagulante natural no tuvieron cambios significativos luego de la aplicación de la dosis.

4. CONCLUSIONES

Se destaca el potencial que presentan los coagulantes naturales para el tratamiento de aguas residuales a nivel industrial, prueba de esto, es el alto rendimiento que presentaron los coagulantes naturales evaluados frente a los que existen en el mercado, demostrando

que son una excelente alternativa en la remoción de turbiedad en aguas residuales industriales, debido a que el porcentaje de remoción de turbidez fue superior al 75% comparados con los resultados obtenidos por los coagulantes convencionales.

Sin embargo, en la muestra de agua de curtiembre no se observó mayor variación en la remoción de turbidez debido al pH básico que presentó la muestra, no obstante, si se le realiza un proceso de titulación con ácido sulfúrico disuelto para llevar el agua a un pH neutro se podría obtener mejores resultados.

Asimismo, el pH de las muestras tratadas con coagulantes naturales no tuvo cambios significativos lo que es una ventaja sobre los coagulantes convencionales, debido a que no se requiere de procesos de estabilización del pH y por ende menor gasto económico.

REFERENCIAS

- [1] J. M. Flórez, “Clarificación de aguas usando coagulantes polimerizados: caso del hidroxicloriguro de aluminio”, *Revista Colombiana de Biotecnología*, 165, 18-25, 2010.
- [2] C. Morales, L. Artuz, M. Martínez, “Las industrias curtiembres y su incidencia en la contaminación del río Bogotá”, *Isocuantia*, 1(1), 43-53, 2011.
- [3] J. Corredor Rivera, “El residuo líquido de las curtiembres estudio de caso: cuenca alta del Río Bogotá”, *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 16(2), 14-28, 2006.
- [4] A. Ndabigengesere & K. S. Narasiah. “Quality of Water Treated by Coagulation Using Moringa oleífera Seeds”, *Water Research*, 32, 781-791, 1998
- [5] S. Bathia, Z. Othman & A. L. Ahmad. “Coagulation-flocculation process for POME treatment using Moringa oleífera seeds extract: Optimization studies”, *Chemical Engineering Journal*, 133, 205-212, 2007.
- [6] A. B. Ortiz, I. C. Paz, J. M. García, “Caracterización de la *Opuntia ficus-indica* para su uso como coagulante natural”, *Bdigital*, 15, 137-144, 2013.
- [7] J. Jaramillo & H. Ramirez. “Agents as natural alternative for water treatment”, *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 11, 136-156, 2015
- [8] C. Martín, G. Martín, A. García, T. Fernández, E. Hernández, y J. Puls. “Potenciales aplicaciones de Moringa oleífera. Una revisión crítica”, *Pastos y forrajes*, 36, 137-149, 2013.
- [9] J. J. Feria, S. B. Roa, A. M. Estrada, “Eficiencia de la semilla *Moringa oleífera* como coagulante natural para la remoción de la turbidez del río Sinú”, *Producción + Limpia*, 1, 9-22, 2014.
- [11] E. N. Ali, S. A. Muyibi, H. M. Salleh, M. Z. Alam, M. R. M. Salleh, “Production of Natural Coagulant from *Moringa Oleífera* Seed for Application in Treatment of Low Turbidity Water”, *Journal Water Resource and Protection*, 2, 259-266, 2010.

- [12] R. Sanghi, B Bhattacharya, A. Dixit & V. Singh, R. J. Vidmar, "Ipomoea dasysperma seed gum: An effective natural coagulant for the decolorization of textile dye solutions", *Journal of Environmental Management*, 81, 36–41, 2006.
- [13] R. Olivero V, I. Mercado M. L. Montes, "Remoción de la turbidez del agua del Rio Magdalena usando *Opuntia Ficus-indica*", *Producción + limpia*, 8, 19-27, 2013.
- [14] G. Rodríguez, K. Banda-R., S. Reyes, A. Estupiñán, "Lista comentada de las plantas vasculares de bosques secos prioritarios para la conservación en los departamentos de Atlántico y Bolívar (Caribe colombiano)", *Revista Biot Colombia*, 13, 6-39, 2012.
- [15] E. N. Ali, S. A. Muyibi & H. M. Salleh, "Moringa Oleifera seeds for use in water treatment". 1st International Conference on managing rivers in the 21 century. Issues and challenges. 401-407, 2004.
- [16] C. Martínez, A. Hernández, E. Simancas, J. Ayala, K. Carrabal-lo, "Coagulantes naturales extraídos de *Ipomea Incarnata* en el tratamiento de aguas residuales industriales en Cartagena de Indias", *Scientia et technical*, 22 (1), 109-113, 2017
- [17] L. Guzmán, Á. Villabona, C. Tejada, R. García, "Reducción de la turbidez del agua usando coagulantes naturales: una revisión", *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 16, 253 – 262, 2013.
- [18] M. M. Sandoval Arreola, J. R. Laines Canepa, "Moringa oleifera una alternativa para sustituir coagulantes metálicos en el tratamiento de aguas superficiales", *Ingeniería*, 17, 93-101, 2013.
- [19] M. V. Camareno, L. G. Esquivel, "Aprovechamiento de algunos materiales en el desarrollo de coagulantes y floculantes para el tratamiento de aguas en Costa Rica", *Tecnología en Marcha*, 19, 37-41, 2006.
- [20] L. Zhang, Z. Tu, H. Wang, Z. Fu, Q. Wen, H. Chang y otros, "Comparison of different methods for extracting polyphenols from *Ipomoea batatas* leaves, and identification of antioxidant constituents by HPLC-QTOF-MS". *Food Research International*, 70, 101-109, 2015.
- [21] S. Y. Choy, K. M. Prasad, T. Y. Wu, M. E. Raghunandan, R.N. Raman. "Utilization of plant-based natural coagulants as future alternatives towards sustainable water clarification", *Journal of environmental sciences*, 26(11), 2178-2189, 2014.