

Uso de la "Opuntia ficus indica", como agente natural para el tratamiento de aguas, a nivel de laboratorio, UMA

Use of "Opuntia ficus indica", as a natural agent for water treatment, at the laboratory level, UMA

Eladio Damián Angulo Altamirano
damianangulo@gmail.com - Universidad María Auxiliadora, Lima
Jorge Emilio Ricardo Yaya Lévano
jeryl221@hotmail.com - Universidad María Auxiliadora, Lima
Miguel Angel Coaquira Yapu
miguel741_@hotmail.com - Universidad María Auxiliadora, Lima

Recibido el 10/06/20 | Aceptado el 30/06/20

Resumen

El presente estudio se realizó con la finalidad de determinar la efectividad coagulante de la cetácea "Opuntia ficus - indica" en la sedimentación y purificación del agua turbia que se precipita en una cuenca lluviosa, e efecto de hacerla apta para consumo humano. El método experimental aplicado se ha desarrollado en dos etapas: (1) la obtención del coagulante natural y (2) la experimentación para determinar la efectividad del coagulante. La fuente de agua es proveniente de acequias y puquiales de las zonas altas del Valle de Cañete y las hojas de la cetácea "Opuntia ficus - indica", también conocida como tuna, es del mismo lugar de donde se obtuvo la muestra de agua. Se evidencia que de 1226.4gr de mucilago de "Opuntia ficus indica" se obtiene 79.6 gr de coagulante y 14.2 a 12.1 y 10.7 NTU. Estas concentraciones se aplican al agua natural, turbia, en periodos de tratamiento de 30 minutos con dosis de 30 mg/l, 50mg/l o 90mg/l de coagulante. Los resultados prueban que a mayor dosis de coagulante hay mayor efectividad en la disminución de la presencia icrobacteriana. Así, en coliformes fecales ¿? de 2236×10^{-3} UFC que disminuye a 987×10^{-4} UFC, 961×10^{-4} UFC, 955×10^{-4} UFC, echerichia colli 1042×10^{-4} UFC, disminuyendo a, 583×10^{-3} UFC, 539×10^{-4} UFC, 516×10^{-4} UFC, y Stafilococcus 647 UFC, 120 UFC, 109 UFC y 97 UFC, según las proporciones indicadas.

Palabras claves: *Coagulante natural, floculante natural, Coagulante de la Opuntia ficus - indica, Floculante de la penca de la tuna.*

Abstract

The present study was conducted with the purpose of determining the coagulant effectiveness of the cetacea "Opuntia ficus - indica". The method follows the methodology of the experimental design, applied, which was developed in two stages. Obtaining the natural coagulant and experimentation to determine the effectiveness of the coagulant, the sample was made up of water from ditches and puquials in the high areas of the Cañete Valley and Leaves of the cetacea "Opuntia ficus - indica", also known as prickly pear, from the same place where the water sample was obtained. The results are evidenced that of 1226.4gr. of Opuntia ficus indica mucilage, 79.6 gr of coagulant and 14.2 to 12.1 and 10.7 NTU are obtained, in 30-minute treatment periods with 30 mg / l, 50Mg / 6 and 90 mg / l of coagulant respectively, appreciating the existence of a higher effectiveness to a greater amount of coagulant, and the reduction of icrobacterial precedence as fecal coliforms of 2236×10^{-3} CFU that decreases to 987×10^{-4} CFU 961×10^{-4} CFU, 955×10^{-4} CFU, echerichia colli 1042×10^{-4} CFU, decreasing to, 583×10^{-3} UFC, 539×10^{-4} UFC, 516×10^{-4} UFC, and Stafilococcus 647 UFC, 120 UFC, 109 UFC and 97 UFC in the proportions indicated.

Keywords: *Natural coagulant, natural flocculant, Coagulant of Opuntia ficus - indica, Flocculant of the prickly pear prickly pear.*

Como citar: Angulo-Altamirano, E.D., Yaya-Lévano, J.E.R. & Coaquira-Yapu, M.A. (2020). Uso de la "Opuntia ficus indica", como agente natural para el tratamiento de aguas, a nivel de laboratorio, UMA. ÑAWPARISUN – Revista de Investigación Científica, 2(4), 57-64.

Introducción

El agua es líquido fundamental de vital importancia para la vida del ser humano, ya que permite su sobrevivencia, por lo tanto su calidad debe ser aquella, que tenga las condiciones básicas para ser utilizada, como encontrarse libre de turbidez, tener color aceptable y presentar sabor perceptible, tal como lo sostiene la Organización Mundial de la Salud; además de ciertas características, según las normas establecidas para ser consumida por el ser humano, los seres vivos, y ser utilizada en los procesos industriales de alimentos, ya que este recurso se encuentra en la naturaleza como nevados, lagunas, ríos, aguas superficiales y aguas subterráneas, por lo tanto es relativamente pura, presentando impurezas y contaminantes, provenientes de la erosión de los suelos, disolución de sustancias orgánicas y minerales, incluso de la descomposición de sustancias orgánicas y en algunos casos, eliminaciones orgánicas de seres humanos, animales domésticos y animales del campo, incluso aguas residuales agrícolas e industriales tóxicas, así mismo presentar turbidez, a causa de tales mezclas, por lo que es necesario purificarla, clarificándola y disminuyendo su turbidez, y para conseguirlo se hace necesario tratarla mediante el proceso de coagulación y floculación, para lograr las condiciones deseadas de potabilización, alcanzando las mejores condiciones posibles para ser utilizada o consumida por el ser humano.

En el proceso de tratamiento convencional del agua, para la coagulación y floculación se utiliza sulfato de aluminio (Pérez 2019). Díaz (2014) considera que para purificar el agua y mejorar las condiciones de calidad, es necesario realizar una serie de procesos para conseguir su potabilización, utilizando sustancias químicas coagulantes y floculantes. En el caso del sulfato de aluminio, este presenta buenos resultados en la remoción de los contaminantes y sólidos suspendidos en el agua, sin embargo su uso tiene gran impacto económico y social por su elevado costo, e impacto medio ambiental, por la formación de altos volúmenes de lodo con elevado contenido de sustancias químicas tóxicas (Espinoza 2018), como aluminio, azufre y oxígeno que son perjudiciales para la agricultura así como, la alteración del pH del agua (Trujillo, Arcila, Rincón, y Pacheco, 2014), por lo que se hace necesario y con fines de disminuir estos problemas, utilizar coagulantes y floculantes naturales, convirtiéndolos en una alternativa para la remoción de las partículas suspendidas en el agua.

El proceso de coagulación es esencial e importante durante el tratamiento de aguas, ya que permite la remoción de las impurezas suspendidas, es aquí donde se emplea el coagulante floculante. Científicamente el proceso de coagulación se define como la adición de sustancias químicas y de mezclas, que permiten la aglutinación de partículas suspendidas, y de algunos contaminantes disueltos en partículas más grandes, facilitando ser retiradas mediante procesos de remoción de sólidos (Ramírez y Jaramillo 2015), es así que en este proceso fisicoquímico se consigue la desestabilización química de las partículas coloidales al ser neutralizadas las fuerzas de repulsión que las

mantiene separadas, logrando la precipitación y coagulación de los sólidos suspendidos, (Diestra y Esquerre, 2019), facilitando su remoción como sólidos disueltos aglutinados en partículas grandes Sánchez (2007). Este aglutinamiento de las partículas coloidales y suspendidas del agua, permite la disminución de la turbidez y del color, pero en menor medida la presencia de bacterias (Lozano 2018).

La aplicación de coagulantes naturales extraídas de las plantas para purificar el agua se realiza desde épocas muy antiguas, Chanca D. y Chanca Y., (2018), sin embargo Bravo (2007), considera que es constante los estudios que se realizan de manera experimental con la finalidad de determinar la efectividad de las plantas que pueden ser utilizadas, como coagulantes en el tratamiento de aguas, de acuerdo con la variedad existente, así como disminuir el uso de sustancias químicas en este proceso.

Existe gran variedad de cetáceas en las zonas alto andinas, que representan una de las grandes familias botánicas oriundas del país, es de entender que su uso se viene dando en nuestro país, así como en diferentes partes del mundo, de manera artesanal y empírica, para la purificación y clarificación de aguas, especialmente en zonas alejadas donde el consumo de agua es directo de las acequias, puquiales y manantiales.

La composición de estas cetáceas es de polímeros complejos, constituidos por polisacáridos, sales minerales, nitrógeno y proteínas, siendo alguno de estos componentes el que tiene el carácter coagulante.

La más utilizada de las cetáceas es la *Opuntia ficus indica* (Zuñiga 2019), y de esta familia, la tuna, Huanca (2017), su composición es a base del hidrocoloide, llamado mucílago, que forma las redes moleculares que retienen grandes cantidades de agua, es una sustancia polimérica compleja de naturaleza glúsidica, de estructura ramificada (Silva 2017), además contiene proporciones variables de L-arabinosa, D-galactosa, L-ramnosa y D-xilosa, así como ácido galacturónico en diferentes proporciones (Quispe 2012).

Materiales y métodos

El estudio está basado en un diseño experimental (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014) que consta de dos etapas: i) obtención del coagulante natural, ii) método experimental evaluación de la efectividad del coagulante natural.

La muestra estuvo constituida por hojas de la Cetácea *Opuntia ficus-indica*, (tuna), y aguas superficiales de acequias y puquiales de las zonas altas del Valle de Cañete.

Obtención del coagulante

El floculante se obtuvo empleando la técnica de Almendárez (2004), que consta de los siguientes pasos: reducción de tamaño, secado, molienda y tamizado, extracción de clorofila, y eliminación de solvente.

Se utilizaron 1226.4 gramos de mucilago de *Opuntia ficus indica*, hoja de tuna, de las cuales se extrajo la pulpa, para trozarlas y deshidratarlas a 60°C durante 48 horas, para luego triturarlas hasta tener un polvo amarillento y tamizarlas, en tamiz de 0.05 mm, y extraer los pigmentos, obteniéndose, 25.74 gr de producto final que fueron sometidos, con etanol al 96% como solvente por 2.5 horas, para extraer los pigmentos y obtener polvo húmedo color marfil, que fue secado a 30°C.

Características de la *Opuntia ficus indica* –penca de la tuna y del agua.

Para determinar las características de la *Opuntia ficus-indica* se sometió al análisis fitoquímico una muestra para determinar los contenidos de humedad, metabolitos como saponinas, flavonoides, y presencia de sales de hierro y calcio, así mismo para una muestra del agua una fue sometida al análisis microbiológico y físico químico.

Evaluación del efecto coagulante

La parte experimental del estudio, realizada con fines de evaluar la efectividad del coagulante natural de la *Opuntia ficus-indica* se basó en el empleo de la prueba de jarras a concentraciones en peso del coagulante de 30 gr/L, 60 gr/L, 90 gr/L, a períodos de 30, 60 y 90 min. De tratamiento.

Resultados y discusión

En la Tabla 1, se muestran los resultados del análisis fitoquímico de la muestra de "*Opuntia ficus-indica*" (penca de la tuna).

Tabla 1.
Análisis fitoquímico de la "Opuntia ificus- indica"

Parámetros	Resultados
Ph	4.42
Humedad (%)	92.36
Calcio (%)	0.32
Hierro (ppm)	33.52
Flavonoides (mg/g)	12.23
Saponinas (mg/g)	0.81

En el Tabla 1 podemos apreciar que el pH es 4.42, humedad 92.36% indicando un alto contenido, 0.32 y 12.23 mg/L de saponinas y flavonoides, y 33.52 ppm de sal mineral de hierro, y 0.32% de sal mineral de calcio, contenido bajo debido al grado de madurez de la hoja de tuna composición de la muestra para este estudio y que varía según el grado de madurez de la "*Opuntia ficus-indica*" (Tuna)

A continuación se muestra la atabla 2, en la que se muestra el balance de masa del coagulante obtenido de la "*Opuntia ficus-indica*", desde la materia prima hasta el producto terminado.

Tabla 2.
Balace de masa del coagulante

Operación	Masa inicial (g)	Masa final (g)	Pérdida (g)	Pérdida de la operación (%)	Pérdida global (%)
Remoción de cutícula	1226.4	995.3	231.1	18.84	20.14
Corte	995.3	944.5	50.8	5.1	4.43
Secado	944.5	81.5	863	91.37	75.27
Triturado	81.5	80.2	1.3	1.6	0.111
Tamizado	80.2	79.6	0.6	0.75	0.05
Total			1146.8		

En la Tabla 2 podemos apreciar que por cada kilogramo de *Opuntia ficus-indica* (penca de Tuna) tratado, se obtienen 79.6 g de coagulante pigmentado, debido al alto contenido de humedad y de cutícula (corteza), correspondiendo al 81.16% de la planta, además se puede apreciar que en cada paso del proceso de obtención existe un porcentaje mínimo de pérdida de la materia prima.

A continuación en la Tabla 3, se muestra las características del coagulante sólido de la "*Opuntia ficus-indica*" – tuna.

Tabla 3.
Características del producto final coagulante sólido

Parámetro	Valor/cualificación
pH	6.2
Estado físico	Sólido
Color	Blanco marfil
Nitrógeno x 6.35 %	7.25
Carbohidratos	59.05
Densidad gr/L	0.658

En la Tabla 3 se puede apreciar las características que presenta el coagulante en polvo, tales como el pH de 6.2 ácido de baja concentración, su estado físico es sólido con un color blanco marfil, nitrógeno 7.25%, carbohidratos 59.05 y densidad 0.658 gr/L.

A continuación se muestra la Tabla 4, en la que se muestra la evaluación del poder coagulante de la *Opuntia ficus-indica*, a través del análisis físico químico de la muestra de agua tratada.

Tabla 4.
Análisis Físico – químico del agua tratada

Determinación	Resultado antes	Resultado después		
		30 mg/L	60 mg/L	90 mg/L
Color	457	13	11.7	9.3
pH	7.1	7.1	7.1	7.5
Turbiedad	142	12.3	12.1	10.7

En la Tabla 4 podemos apreciar los valores del agua, antes y después del tratamiento con el coagulante obtenido del *Opuntia ficus-indica*, conocido como tuna, el color disminuye de 457 a 13, el pH no experimenta variación alguna, la turbidez disminuye de 142 a 12,3 con una muestra de 30 gr. De coagulante y 30 minutos de tratamiento.

Por otro lado, en pruebas paralelas podemos apreciar, de acuerdo al incremento de coagulante a 30 gr/L, 60 gr/L y 90 gr/L, que se consigue una mayor efectividad del coagulante, para la clarificación se tiene que varía de 13, 11.7 y 9.3 respectivamente, el pH no consigue variación significativa manteniéndose en 7.1, 7.1 y 7.5 respectivamente y para la turbidez valores de 12.1 y 10.7, respectivamente, apreciándose la existencia de una mayor efectividad a mayor cantidad de coagulante.

Las medidas de claridad de agua superficial se dan en Unidades de Platino Cobalto (UPC), y de turbidez en Unidades Nefelométricas de Turbiedad (NTU).

A continuación, se muestran los porcentajes de remoción de color y de turbidez obtenidos con diferentes proporciones del coagulante. Se puede apreciar que la remoción de color y de turbidez tiende a aumentar a medida que se incrementa la dosis de coagulante para las condiciones estudiadas, obteniéndose un máximo de remoción de color en 64%, y una remoción de turbidez de 852% cuando se aplicó coagulante en una dosis de 90 mg/L a agua superficial de acequia con una turbidez inicial de 142 NTU.

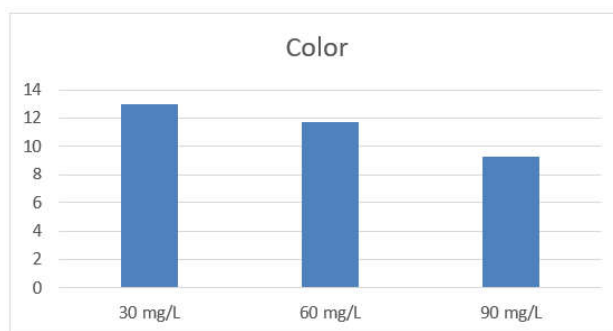


Figura 1. Valoración de la claridad CON 30 gr/L, 60 gr/L y 90 gr/L.

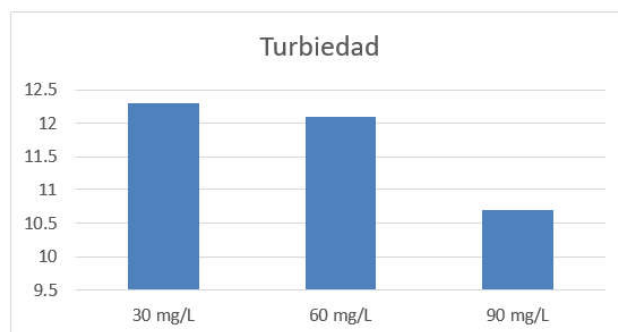


Figura 2. Valoración de la turbidez con 30 gr/L, 60 gr/L y 90 gr/L.

De las figuras anteriores se deduce que la actividad del coagulante es más eficiente a mayor concentración de la misma comparable a la de otros materiales similares; tal como el coagulante del Cactus olefaria, con una remoción de turbidez entre 80 y 90%, en una dosis óptima de 10 mg/L para la de clarificación de aguas con turbidez inicial de 30 NTU (Martínez *et al.*, 2003), sin embargo, los valores de color y turbidez obtenidos no cumplen con las características mínimas exigidas para el agua potable (<15 UP< 5 NTU); aun así, es importante considerar que el proceso de clarificación es una etapa durante el tratamiento del agua, y el valor óptimo se puede alcanzar en etapas posteriores con un proceso de filtración para agua clarificada con turbidez menor a 50 NTU.

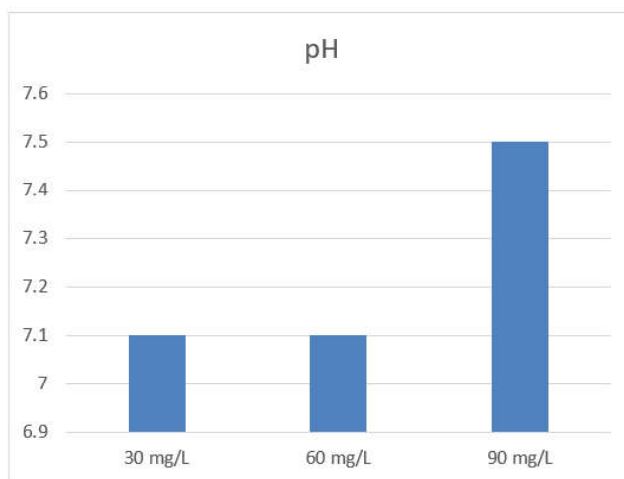


Figura 3. Valores de pH obtenidos con 30 gr/L, 60 gr/L y 90 gr/L.

De la figura anterior podemos apreciar los valores de pH del agua obtenidos luego de ser tratada con dosis de coagulante de 30, 60 y 90 mg/L; se puede observar que el pH del agua se mantiene alcalino, con valores entre 7.5 y 7.9; determinando así que el coagulante adicionado no altera en gran medida el pH, pero si se puede apreciar que varía ligeramente con tendencia a disminuir el pH de la muestra, debido a que en el proceso de coagulación se precipitan las arcillas disueltas que le dan carácter alcalino al agua cruda (Deloya, 2006).

A continuación se muestra la Tabla 5 con la información referente a la disminución de la carga bacteriana.

Tabla 5.
Análisis microbacteriano del agua tratada

Parámetros	Resultado antes	Resultado después		
		30 gr/L	60 gr/L	90 gr/L
Coliformes totales	2236x10 ⁻³	987x10 ⁻⁴	961x10 ⁻⁴	955x10 ⁻⁴
Recuento de E.Coli	1042x10 ⁻³	581x10 ⁻⁴	539x10 ⁻⁴	516x10 ⁻⁴
Staphylococcus	647	120	109	97
Salmonella	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia

De la Tabla 5 podemos apreciar que la carga microbacteriana disminuye, la presencia de coliformes fecales baja de 2236 x 10⁻³ a 987 x 10⁻⁴, la presencia del E. coli disminuye de 1042 x 10⁻³ a 581x10⁻⁴, la presencia de staphylococcus de 647 a 120, no se detectó presencia de salmonella antes y después del tratamiento.

Por otro lado en pruebas paralelas se puede observar que los valores mantienen una ligera disminución, no siendo tan significativa, de la carga microbiana a 60 mg/L de la sustancia coagulante.

Discusión

De acuerdo a los hallazgos encontrados en la prueba de jarras, a observaciones visuales, la turbidez de la muestra disminuye al agregarle el coagulante natural, apreciándose la formación de sedimento, al fondo del recipiente, formado por las partículas suspendidas en el agua, mostrando la capacidad coagulante de la cetácea *Opuntia Ficus indica* - penca de la tuna. Los datos obtenidos en el análisis experimental son relevantes para el uso del coagulante, tal como se muestra en la Tabla 4 del análisis físico químico del agua, en el que se evidencia y confirma la apreciación visual, mostrando las características del agua antes y después del tratamiento a diferentes proporciones del coagulante, teniendo como resultados el incremento de remoción, obteniendo en el color de 457, disminuye a 13, 11.7 y 9.3 UPC (unidades de platino cobalto), la turbidez de 143 disminuye a 12.3 12.1 y 10.7 NTU (Unidades Nelmétricas de Turbidez), manteniéndose el pH inalterables, por otro lado los períodos de tratamiento fueron significativos. Este comportamiento se encuentra en concordancia con los datos obtenidos por Almandarez (2004) quien al aplicar la técnica para obtener el coagulante consideró un período de remoción de 20 a 40 minutos en los cuales encontraba resultados similares y Silva (2017) quien al aplicar el coagulante en el tratamiento de aguas consideró el período mínimo. Por lo tanto los porcentajes de remoción de color y de turbidez a diferentes proporciones de coagulante, tienden a aumentar a medida que se incrementa la proporción del coagulante para las condiciones estudiadas, obteniéndose un máximo de remoción de color en 64%, y una remoción de turbidez de 852% cuando se aplicó coagulante en una proporción de 90 mg/L a agua con una turbidez inicial de 142 NTU.

Otro hallazgo no menos importante se aprecia en la Tabla 5, donde se muestran los resultados del análisis microbacteriano antes y después del tratamiento del agua con el coagulante natural, en el que se evidencian una ligera disminución en coliformes fecales de 2236x10⁻³ UFC que disminuye a 987x10⁻⁴ UFC, 961x10⁻⁴ UFC, 955x10⁻⁴ UFC, *Echerichia coli* 1042 x10⁻⁴ UFC, disminuyendo a, 583x10⁻³ UFC, 539x10⁻⁴ UFC, 516x10⁻⁴ UFC, y *Stafilococcus* 647 UFC, 120 UFC, 109 UFC y 97 UFC (unidades formadoras de colonia), tal como Almandarez (2004) quien al realizar el estudio con coagulantes naturales consideró esta variable, confirmando la evidencia, que la presencia microbacteriana disminuye al agregar la sustancia coagulante.

Otro dato relevante del estudio se encuentra en las características de la *Opuntia ficus indica*, que van a depender básicamente del grado de madurez de la misma, los resultados del análisis realizado al coagulante en polvo, revelaron una composición de pH 6.2, ácido de baja concentración, su estado físico es sólido con un color blanco marfil, presencia de nitrógeno 7.25%, carbohidratos 59.05% y densidad 0.658 gr/L. Por otro lado, el bajo contenido de proteínas sugiere que estas especies bioquímicas no son las principales responsables del poder coagulante del material; mientras que el alto contenido de carbohidratos señala que estos compuestos deben favorecer la coagulación, tal como lo sostienen Chun-Yang (2010) y Almandárez (2004), quienes atribuyen el poder coagulante a los compuestos alginicos derivados del almidón presente en la planta.

Conclusiones

La *Opuntia ficus indica*, tuna, es una cetácea silvestre, que abunda en diferentes pisos altitudinales, posee características que ayudan a la coagulación - floculación, de aguas turbias debido al elevado contenido y que son causantes de la remoción de las partículas suspendidas durante el tratamiento de aguas.

De acuerdo a la técnica empleada, por cada kilogramo de *Opuntia ficus indica* - penca de tuna –tratado, se obtienen 74 g de coagulante, cuyas características van a depender del grado de madurez de la *Opuntia ficus indica* – penca de la tuna-

El coagulante presenta alto poder y capacidad activa en la remoción de partículas suspendidas durante el tratamiento de aguas, clarificando, disminuyendo la turbidez, así como la carga microbacteriana.

Recomendaciones

Experimentar nuevas técnicas y métodos para la obtención del coagulante de la *Opuntia ficus indica*, que sean viables para su obtención.

Implementar el uso de coagulantes naturales en el tratamiento de aguas para su potabilización ya que su obtención es de bajo costo, y fácil de obtener y no es perjudicial para la salud, así como por su elevado poder activo puede reemplazar al sulfato de aluminio en el tratamiento de aguas.

Por último, los valores de pH del agua obtenidos luego del tratamiento con proporciones de coagulante de 30, 60 y 90 mg/L; se mantiene alcalino, con valores entre 7.5 y 7.9; determinando así que el coagulante adicionado no altera en gran medida el pH, pero si varía ligeramente con tendencia a disminuir el pH de la muestra, debido a que en el proceso de coagulación se precipitan las arcillas disueltas que le dan carácter alcalino al agua cruda (Deloya, 2006)

Referencias bibliográficas

- Alvarez Ch. (2019). Extracto de Moringa Moringa oleofera para la remoción de turbidez de efluentes en la producción de néctar de maracuyá. Tesis para optar el grado de Maestro. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima-Perú.
- Bravo G. M. (2017). Coagulantes y floculantes naturales usados en la reducción de turbidez, sólidos suspendidos, colorantes y metales pesados en aguas residuales. Universidad Distrital Francisco de Caldas. Bogota. Colombia.
- Chanca Q. D. Chanca Q. Y. (2017). Capacidad floculante de coagulante naturales en el tratamiento de aguas. Universidad Nacional José María Arguedas. Andahuaylas Perú. Revista de Tecnología Química. RTQ vol.38 no.2 Santiago de Cuba may.-ago. 2018
- Chun-Yang Y. (2010) Emerging usage of plant-based coagulants for water and wastewater treatment. *Process Biochemistry*. 45: 1437 - 1444.
- Deloya, A. (2006) Métodos de análisis físicos y espectrofotométricos para el análisis de aguas residuales. *Tecnología en Marcha*. 19: 2-33.
- Díaz C. J. (2014). Coagulantes – Floculantes orgánicos e inorgánicos, elaborados de plantas y del reciclaje de chatarra para el tratamiento de aguas. Tesis para optar el grado de Maestro. Universidad Nacional Francisco Morazan. Honduras.
- Diestra R. F. Esquerre P.P.(2018). Efecto en la disminución de la turbidez en el agua por floculantes de *Opuntia ficus-indica* (Tuna) con diferentes procesos de extracción en el río Chonta de Cajamarca, 2018. Tesis para optar el título de Ingeniero Ambiental. Universidad Nacional de Trujillo. La Libertad. Perú.
- Huanca A. J. (2017). Evaluar los parámetros durante el tratamiento térmico para la obtención del mucilago de la penca de la tuna (*Opuntia ficus – Indica*). Tesis para optar el título de Ingeniero Aroindustrial. Universidad Nacional del Altiplano. Puno. Perú.
- Iglesias O. L. (2018) Optimización de los procesos de coagulación – floculación, en la planta de potabilización perteneciente al Canton Cañar. Tesis para optar el título de Ingeniero Químico. Universidad de Cuenca. Cuenca. Ecuador.
- Lozano F. L. (2018) Efecto en la disminución de la turbidez en el agua por floculantes de *Opuntia ficus-indica* (Tuna) con diferentes procesos de extracción en el río Chonta de Cajamarca. Tesis para optar el Título de Ingeniero Ambiental. Universidad Privada Antonio Guillermo Urrelu. Cajamarca-Perú.
- Pérez G. I. (2015). Optimización de la dosificación del sulfato de aluminio para el tratamiento de agua potable del distrito de Vilvavoto. Tesis para optar el título de Ingeniero Químico. Universidad Nacional del Centro del Perú. Huancayo-Perú.
- Quispe J. H. (2012) Aplicación del mucilago extraído del nopal (*Opuntia ficus – Indica*, en la clarificación de aguas del río uchusuma. Tesis para optar el título de Ingeniero Químico. Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann. Tacna-Perú.
- Ramírez A. Jaramillo P. (2015). Agentes naturales como alternativa para el tratamiento de aguas. Universidad Cooperativa de Colombia. Ibaue Colombia. Colombia. Revista de ciencias básicas. Volumen 11 • Número 2 • Páginas 136-153 • 2015 • DOI
- Silva C. M. (2017). Extracción del Mucilago de la Penca de la Tuna y su aplicación en el proceso de coagulación – floculación de aguas turbias. Tesis para optar el título de Ingeiero Químico. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima-Perú.
- Trujillo D. Arcila J. Rincon A. Pacheco S. (2014). Remoción de turbiedad en agua de una fuente natural mediante coagulación/floculación usando almidón de plátano. Universidad Católica de Manizales. Bucaramanga Colombis. Rev. Ion vol.27 no.1 Bucaramanga Jan./June 2014
- Zuñiga C.J. (2019). Identificación y estado de conservación de las cetáceas en Puerto Corio, Distrito de Punta de Bombom, Provincia de Islay y conservación 2018. Tesis para optar el grado de Doctor. Universidad Nacional de San Agustín. Arequipa-Perú.