






Uso de las cáscaras de papa (*Solanum tuberosum L*) en la clarificación del agua de la Ciénaga de Malambo

Use of potato peels (*Solanum tuberosum L*) in the clarification of the water of the Ciénaga de Malambo

Hansel Camacho-Oviedo , Diana Campos-Núñez ,
Iván Mercado-Martínez , Néstor Cubillán-Acosta 
Universidad del Atlántico, Colombia
Grey Castellar-Ortega 
Universidad Autónoma del Caribe, Colombia

Open Access

Recibido:

4 septiembre de 2019

Aceptado:

4 noviembre de 2019

Publicado:

10 febrero de 2020

Correspondencia:

ivanmercado@mail.uniatlantico.edu.co
grey.castellar@uac.edu.co

DOI:

<https://doi.org/10.17081/invinno.8.1.3572>



© Copyright: Investigación e Innovación en Ingenierías

Resumen

Objetivo: Realizar un estudio comparativo del proceso de clarificación de un humedal natural usando dos coagulantes, sulfato de aluminio y cascara de papa (*Solanum tuberosum L*). **Metodología:** Inicialmente se recolectó el residuo agroindustrial de diferentes establecimientos de comidas rápidas y restaurantes de la ciudad de Barranquilla donde, habitualmente, es descartado. La cáscara de papa se sometió a lavado, secado y molienda. El polvo obtenido se tamizó y envasó herméticamente en un frasco de vidrio para ser utilizado como coagulante. El sulfato de aluminio se obtuvo en el comercio. Las muestras de agua se recolectaron de la ciénaga de Malambo mediante un muestreo simple. Para remover su turbidez se realizó un ensayo de jarras que simuló los procesos de coagulación, floculación y sedimentación, teniendo como referencia los parámetros establecidos en la NTC 3903 de 2010, usando cada coagulante. **Resultados:** El agua objeto de estudio tuvo una turbidez inicial de 59,60 UNT. La mayor remoción de este parámetro se obtuvo con una dosis de 40 mg/L de sulfato de aluminio (92,51%); mientras que el coagulante natural removió 81,32% al emplear una dosis de 10 mg/L. **Conclusiones:** Se determinó que las dosis de los coagulantes, sulfato de aluminio y cáscara de papa, utilizados en esta investigación influyeron sobre la turbidez del agua de la ciénaga, impulsando al estudio y aprovechamiento de la cáscara de papa como alternativa viable en el tratamiento de las aguas.

Palabras claves: Cáscara de papa, Clarificación, Coagulante, Humedal natural, Residuo agroindustrial, Sulfato de aluminio, Turbidez.

Abstract

Objective: Conduct a comparative study of the clarification process of a natural wetland using two coagulants, aluminum sulfate and potato peel (*Solanum tuberosum L*). **Methodology:** Initially, the agroindustrial waste was collected from different fast-food establishments and restaurants in the city of Barranquilla, where it is usually discarded. Potato peel is washed, dried and ground. The powder obtained was screened and packed tightly in a glass jar to be used as a coagulant. Aluminum sulfate was obtained commercially. Water samples are collected from the Ciénaga de Malambo by simple sampling. To remove its turbidity, a jug test was performed that simulated the coagulation, flocculation and sedimentation processes, taking as a reference the parameters established in NTC 3903 of 2010, using each coagulant. **Results:** The water under study had an initial turbidity of 59.60 UNT. The greatest removal of this parameter was obtained with a dose of 40 mg / L aluminum sulfate (92.51%); while the natural coagulant removed 81.32% when using a dose of 10 mg / L. **Conclusions:** It was determined that the doses of coagulants, aluminum sulfate and potato peel, used in this investigation influenced the turbidity of the water of the swamp, impulse to the study and use of the potato peel as a viable alternative in the treatment of water.

Keywords: Potato peel, Clarification, Coagulant, Natural wetland, Agroindustrial waste, Aluminum sulfate, Turbidity.

Como citar (IEEE): H. Camacho-Oviedo, D. Campos-Núñez, I. Mercado-Martínez, N. Cubillán-Acosta., y G. Castellar-Ortega, "Uso de las cáscaras de papa (*Solanum tuberosum L*) en la clarificación del agua de la Ciénaga de Malambo", *Investigación e Innovación en Ingenierías*, vol. 8, n°. 1, 2020. DOI: <https://doi.org/10.17081/invinno.8.1.3572>

Introducción

El agua cruda es aquella que se encuentra en estado natural, sin tratamiento alguno. Se destacan los ríos, arroyos, lagos, lagunas, ciénagas y cualquier curso superficial o subterráneo, que el hombre utiliza para abastecerse [1]. Aproximadamente, más del 80% de las aguas residuales resultantes de las actividades humanas se vierten en los ríos o en el mar sin ningún tratamiento, además de las impurezas provenientes del suelo que provocan su contaminación progresiva e impacta de manera negativa la naturaleza y disponibilidad de este recurso [2]. Para garantizar las condiciones de calidad y hacer el agua apta para el consumo, es necesario someterla a un proceso de potabilización. Sin embargo, según la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la UNICEF, cada 3 personas de 10, no tienen acceso a servicios seguros de agua potable [3].

El tratamiento de potabilización combina procesos físicos y químicos, dentro de los cuales se encuentran: coagulación, floculación, sedimentación, filtración y cloración [4], siendo las tres primeras etapas las que conforman la clarificación [5]. Durante el proceso de coagulación, las partículas coloidales que generan turbidez en el agua se desestabilizan mediante la adición de coagulantes. En la floculación, las partículas desestabilizadas se aglomeran formando flóculos más grandes que pueden eliminarse mediante sedimentación [6].

Las sustancias más usadas en el tratamiento de las aguas son de origen químico, siendo el más utilizado el sulfato de aluminio [7], por su bajo costo y disponibilidad en el mercado; sin embargo, está relacionado con efectos negativos en la salud humana [8]. Varios estudios epidemiológicos y neuropatológicos han demostrado una relación entre el agua potable y el Alzheimer debido al aluminio residual presente en esta [9, 10, 11, 12, 13]. Por tal motivo, surge el interés de buscar alternativas naturales a estas sustancias químicas, con las que se obtengan resultados iguales e incluso superiores [14].

Los coagulantes naturales pueden ser de origen animal o vegetal, siendo los segundos los más estudiados y extraídos principalmente de hojas, exudados, cortezas, raíces y semillas de plantas y árboles [15]. Estos han demostrado su capacidad para remover la turbidez del agua, además poseen propiedades antimicrobianas y características biodegradables que los convierten en una opción viable y sostenible desde el punto de vista ambiental [16].

La papa es el cultivo alimentario más importante del mundo, después de los cereales. Se cultiva en más de 150 países con una producción anual de aproximadamente 330 millones de toneladas. El rendimiento promedio es de 20 ton / ha. Es la principal fuente de nutrientes básicos para los habitantes de muchos países en desarrollo y también genera ingresos para

su subsistencia [17]. En el año 2017 se consumió en Colombia 2.751.837 toneladas de este tubérculo [18]. Sin embargo, no se aprovechan los residuos de su procesamiento, originando desperdicios orgánicos, que conlleva a la necesidad de buscar alternativas eficientes para darle un uso [19]. La cáscara de papa (*Solanum tuberosum* L) es un residuo estudiado en los últimos años como coagulante en el proceso de clarificación de las aguas [20]. Se compone en gran parte de almidón; este polisacárido posee en su estructura un polímero lineal (amilosa) y uno ramificado (amilopectina) donde las partículas coloidales presentes en el agua sin tratar se unen en uno o más puntos de estas cadenas y forman flóculos de gran tamaño que precipitan con mayor facilidad [21].

En el año 2012, en el municipio de Villa de Leyva-Boyacá, se realizó un estudio en la planta de tratamiento de agua potable “La Diana” cuya fuente de abastecimiento es el río Cane y la quebrada La Colorada. Se evaluó la acción coagulante de las mezclas de cáscara de papa y sulfato de aluminio en la potabilización de estas aguas logrando reducir la turbidez a <2 UNT [22].

La ciénaga de Malambo hace parte de un complejo cenagoso que se conecta directamente al río Magdalena [23] se encuentra ubicada en el departamento del Atlántico con coordenadas geográficas 10°51'19" de latitud norte y a 74°45'23" de longitud oeste; este recurso hídrico guarda un alto nivel de contaminación por la desembocadura del arroyo Caracolí, El Sapo y San Blas; sin embargo, es utilizada por la población de la zona para su consumo y llevar a cabo tareas domésticas [24]. El municipio de Malambo como otros territorios del departamento del Atlántico son vulnerables a la contaminación de las fuentes de agua debido al mal manejo de los residuos sólidos, sumado al cambio climático y a los vertimientos de aguas residuales domésticas.

Esta investigación tuvo como objetivo evaluar la remoción de la turbidez del agua de la Ciénaga de Malambo usando dos coagulantes, uno químico, sulfato de aluminio y otro de origen natural, cáscara de papa (*Solanum tuberosum* L).

Metodología

Toma de muestras

Las muestras de agua se recolectaron de la ciénaga de Malambo mediante un muestreo simple en recipientes plásticos limpios y previamente purgados (dos o tres veces) con el agua objeto de estudio. Luego, los envases se sumergieron hasta llenarse dejando un vacío para aireación o mezcla. Una vez extraídas las muestras, se midieron los valores iniciales de turbidez (TB 300 IR, Lovibond) y pH (ST2100, OHAUS). Finalmente, fueron transportadas

a 4 °C hasta el laboratorio de biotecnología de microalgas de la Universidad del Atlántico, donde se llevó a cabo la prueba de jarras.

Obtención del coagulante de las cáscaras de papa (*Solanum tuberosum* L)

Las cáscaras de papa fueron recolectadas de diferentes restaurantes y establecimientos de comidas rápidas de una zona localizada al suroccidente de la ciudad de Barranquilla (Atlántico). Este residuo se lavó con abundante agua para eliminar rastros de tierra e impurezas adheridas. Luego, se secaron en un horno (ED 115, BINDER) a una temperatura de 100 °C durante 24 horas. Posteriormente, se trituraron con un molino eléctrico (E160BYR, PROCTOR SILEX). El polvo obtenido se pasó por un tamiz No. 100 y se envasó herméticamente en un frasco de vidrio.

Preparación de las soluciones coagulantes

Para preparar las soluciones coagulantes, se agregó agua destilada a un balón aforado de 100 mL hasta la mitad de su capacidad, aproximadamente. Luego se agregó 1,0 g de sulfato de aluminio y se agitó con un capilar de vidrio hasta lograr su disolución; posteriormente, se agregó agua destilada hasta llegar al aforo. El mismo procedimiento se realizó con el polvo obtenido de las cáscaras de papa.

Ensayo de jarras

Esta prueba simuló los procesos de coagulación, floculación y sedimentación del agua de la ciénaga, teniendo como referencia los parámetros establecidos en la NTC 3903 de 2010 [25]. Inicialmente, se midieron iguales volúmenes de agua, 1000 mL, en seis vasos de precipitado. Posteriormente, se adicionaron a cada jarra diferentes dosis (10, 20, 40, 60, 80, 100 mg/L) extraídos de la solución de sulfato de aluminio y se sometieron en agitación rápida a una velocidad de 120 r/min durante 1 min. Después, se redujo la velocidad de agitación hasta 30 r/min durante 20 min. Transcurrido el periodo de mezcla lenta, se dejaron sedimentar los flóculos formados durante 15 min. Finalmente, se extrajo de cada beaker un volumen de agua para analizar la turbidez utilizando un turbidímetro (TB 300 IR, Lovibond). Para determinar la eficiencia como coagulante de la solución preparada con cáscara de papa, se realizó esta prueba bajo las mismas condiciones.

Análisis de resultados

Esta investigación fue de tipo experimental y los ensayos se realizaron por triplicado. Los resultados obtenidos del diseño unifactorial utilizado en el análisis de la influencia de la dosis de coagulante (factor) sobre la turbidez

del agua de la ciénaga de Malambo, se emplearon para comparar los porcentajes de remoción obtenidos con cada coagulante y evaluar su eficiencia. Estos resultados se analizaron a través del programa estadístico Statgraphics Centurion XVI, mediante un análisis de varianza, ANOVA, con una confiabilidad del 95% (valor $P < 0,05$) y la prueba de Duncan.

Porcentaje de remoción de turbidez

La eficiencia de la remoción de turbidez (E_r) del agua objeto de estudio expresada como el porcentaje de turbidez removido con respecto a la turbidez inicial, se calculó mediante la ecuación (1):

$$E_r (\%) = \frac{T_i - T_f}{T_i} \times 100 \quad (1)$$

Donde T_i es la turbidez inicial y T_f la turbidez final.

Resultados y discusión

Los parámetros iniciales del agua recolectada de la Ciénaga de Malambo en el mes de noviembre del año 2018 se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Condiciones iniciales del agua de la Ciénaga de Malambo

Parámetros	Valores iniciales
Turbidez (UNT)	59,60
pH	7,54

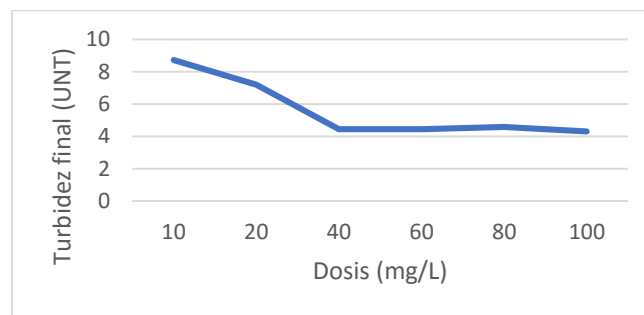
Fuente: Elaboración propia

La resolución 2115 de 2007 establece que el agua apta para consumo humano no debe tener una turbidez superior al valor máximo aceptable de 2 UNT [26]; es decir, el agua de la ciénaga no cumple con este parámetro. Es importante destacar que el valor inicial de pH se encuentra dentro del rango óptimo (6,5-8,0) para que el agua pueda ser sometida al proceso de coagulación sin necesidad de una corrección de pH. Cada coagulante químico tiene un rango de pH dentro del cual su acción es más eficiente, para el sulfato de aluminio, este valor varía entre 5,5 y 8,0 [24]. Según un estudio desarrollado por la Corporación Regional del Atlántico (C.R.A.) durante el año 2013, el agua de la Ciénaga de Malambo presentó un valor de 7,9 unidades de pH, propio de estos humedales naturales [27]. En otra investigación realizada en el año 2017, estas aguas presentaron una turbidez de 56,5 UNT [24].

El valor-P del análisis de varianza, ANOVA fue 0,0001 siendo menor a 0,05; por lo tanto, se identifica que la dosis del coagulante, sulfato de aluminio, influye sobre la turbidez del agua de la ciénaga.

La prueba de Duncan se representa en la Figura 1, donde se observa que los menores valores de turbidez final en las muestras de agua del humedal después del proceso de clarificación se lograron con dosis de 40, 60, 80 y 100 mg/L. No se encontraron diferencias significativas entre estos valores al emplear estas dosis. Es decir, se pueden emplear sin distinción alguna cualquiera de las dosis anteriormente mencionadas obteniendo el mismo resultado. Sin embargo, por los problemas asociados al aluminio residual, se debe utilizar la menor dosis. Con 40 mg/L se logró una turbidez final de 4,46 UNT. Este resultado supera el valor máximo aceptable de 2 UNT establecido en la Resolución 2115 del año 2007. Sin embargo, en el presente estudio no se llevó a cabo el proceso de filtración donde también se remueve la turbidez del agua.

Figura 1. Variación de la turbidez final del agua de la Ciénaga de Malambo en función de la dosis de coagulante químico, sulfato de aluminio



Fuente: Elaboración propia

Investigaciones previas sobre la eficiencia del sulfato de aluminio en la remoción de la turbidez de muestras de agua de diferentes orígenes, se utilizaron como referencia para conocer el rango de poder coagulante de esta sustancia química. En el año 2017 lograron remover la turbidez de una muestra de agua de la Ciénaga de Malambo (de 56,5 a 1,8 UNT) empleando una dosis de 20 mg/L de alumbre [24]. Sin embargo, en el presente estudio la turbidez disminuyó de 59,60 a 4,46 UNT usando 40 mg/L de esta sustancia química. La anterior variación, se debe al continuo vertimiento de aguas domésticas que durante el último año recibió este humedal.

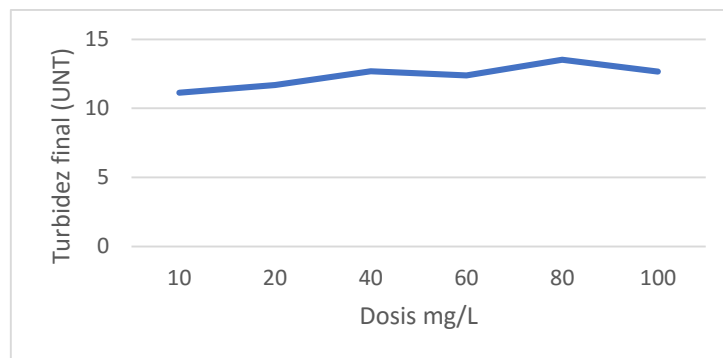
Un estudio realizado en el año 2019 a unas muestras de agua residual obtenidas de una lavandería industrial con turbidez inicial de 66,80 UNT, demostró la eficiencia del sulfato de aluminio al alcanzar una turbidez final de 8,28 UNT con una dosis de 1000 mg/L [28]. En el año 2017 se compararon los resultados obtenidos de unas muestras de agua sintética con diferentes valores de turbidez, utilizando alumbre como agente coagulante. Al utilizar una dosis de 10 mg/L la turbidez varía de 50 a 3,7 UNT [29]. Al comparar los resultados anteriores con la presente investigación, se observa un cambio en el poder coagulante del sulfato de aluminio, debido a las características

de las muestras de agua analizadas en cada estudio (agua residual textil, sintética y humedal natural).

La dosis del coagulante natural, cáscara de papa, influye sobre la turbidez del agua de la Ciénaga de Malambo, como se demostró en el análisis de varianza, ANOVA, donde se determinó un valor-P de 0,0001.

A partir de los resultados de la prueba de Duncan presentados en la Figura 2, se observa que al emplear una dosis de 10 mg/L de cáscara de papa, se redujo la turbidez de 59,60 a 11,13 UNT siendo uno de los 4 grupos homogéneos. Además, se presenta un grupo conformado por las dosis de 40, 60 y 100 mg/L, que obtuvieron valores de turbidez final de 12,70; 12,40 y 12,67 UNT, respectivamente. Los otros dos grupos los componen las dosis de 20 y 80 mg/L, logrando valores de turbidez final de 11,70 y 13,53 UNT, respectivamente. La menor turbidez final en el agua del humedal se obtiene usando la dosis óptima de coagulante natural (10 mg/L).

Figura 2. Variación de la turbidez final del agua de la Ciénaga de Malambo en función de la dosis de coagulante natural, cáscara de papa



Fuente: Elaboración propia

Los resultados obtenidos en una investigación realizada en el año 2017, demostraron que al utilizar una dosis óptima de 50 mg/L de cáscara de papa como coagulante en un proceso de clarificación, se obtiene una turbidez final de 6 UNT de un agua sintética cuya turbidez inicial es 200 UNT [21]. En Ecuador durante este mismo año, se estableció que los residuos de papa (cáscaras) reducen la turbidez inicial del agua residual proveniente de la quesera INNOLAC ubicada en la provincia de Chimborazo, de 1395 a 129 UNT al emplear una dosis óptima de 1000 mg/L [30]. Al comparar los resultados de estos estudios con el presente trabajo, donde se alcanzó una turbidez final de 11,13 UNT al usar una dosis óptima de 10 mg/L de cáscara de papa, cuando el agua del humedal presentó una turbidez inicial de 59,60 UNT, se observa que este residuo agroindustrial es una alternativa viable como coagulante natural para el tratamiento de las aguas.

Otros autores en Pakistán, durante el año 2019, demostraron que al utilizar extracto de piña como coagulante para el tratamiento de un agua sintética,

disminuye el valor de la turbidez de 67 a 30,15 UNT al usar una dosis de 600 mg/L [31]. Al comparar estos resultados con los del presente estudio, se observa la cáscara de papa es mejor agente coagulante que la piña.

En Canadá durante el año 2019, se realizó una investigación donde se empleó como agente coagulante, el cactus *Opuntia ficus-indica*, que redujo la turbidez de un agua sintética de 50 a 6 UNT al usar una dosis de 10 mg/L [32]. En un estudio elaborado en el año 2017, el agua de la Ciénaga de Malambo se clarificó con una dosis óptima de 750 mg/L de semillas de *Moringa oleífera* como coagulante, reduciendo su turbidez de 56,5 a 20,6 UNT [24]. Los resultados del presente trabajo y de las investigaciones anteriormente mencionadas, demuestran que el cactus *Opuntia ficus-indica* y la cáscara de papa tienen una mayor eficiencia como coagulante natural en comparación con las semillas de *Moringa oleífera*.

Con la información obtenida de esta investigación respecto al uso de la cáscara de papa como coagulante para el tratamiento de aguas, se abre la posibilidad de evaluar otros residuos agroindustriales que reduzcan los efectos negativos en la salud humana del coagulante químico, sulfato de aluminio. Además, de contribuir a minimizar el impacto ambiental negativo que estos generan mediante su aprovechamiento.

En la Tabla 2 se observan los porcentajes de remoción de la turbidez obtenidos en diferentes estudios al utilizar sulfato de aluminio y distintos tipos de coagulantes naturales en la clarificación de aguas: cáscara de papa, semillas de *Moringa oleífera*, extracto de piña y cactus *Opuntia ficus-indica*. En el presente trabajo estas remociones se determinaron mediante la ecuación (1). El sulfato de aluminio removió la turbidez del agua de la ciénaga de Malambo en 92,51%, mientras que la cáscara de papa redujo 81,32% de este parámetro.

Tabla 2. Porcentaje de remoción de la turbidez obtenido en diferentes estudios al emplear coagulantes

Referencias	Sulfato de Aluminio	Remoción (%)	Coagulante natural	Remoción (%)
Investigación actual		92,51	Cáscara de papa	81,32
M. Meza – Leones, <i>et al.</i> [24]		96,00	Semillas de <i>Moringa oleífera</i>	64,00
Dotto <i>et al.</i> [28]		87,60	-	-
Martínez <i>et al.</i> [29]		92,60	-	-
Carrasquero <i>et al.</i> [21]	-	-	Cáscara de papa	97,00
Paca [30]	-	-	Cáscara de papa	90,75
Hussain <i>et al.</i> [31]	-	-	Extracto de piña	55,00
Choudhary <i>et al.</i> [32]	-	-	Cactus <i>Opuntia ficus-indica</i>	88,00

Fuente: Elaboración propia

Conclusiones

La Ciénaga de Malambo representa el principal medio de abastecimiento de la comunidad cercana a la zona, quienes la utilizan para satisfacer sus necesidades básicas. El agua de este humedal presentó una turbidez inicial de 59,60 UNT, superando el valor máximo aceptable de 2 UNT establecido en la Resolución 2115 del año 2007, por lo tanto, no es apta para consumo humano.

Mediante esta investigación se determinó que las dosis de los coagulantes, sulfato de aluminio y cáscara de papa (10-100 mg/L), influyeron sobre la turbidez del agua de la ciénaga. La mayor remoción de este parámetro se obtuvo con una dosis de 40 mg/L de sulfato de aluminio (92,51%); mientras que el coagulante natural removió 81,32% al emplear una dosis de 10 mg/L. A pesar de que este último presentó una menor eficiencia en comparación con el alumbre, este residuo agroindustrial es una alternativa viable como coagulante natural para el tratamiento de las aguas.

Al comparar los resultados de este estudio con otras investigaciones, se demostró que el cactus *Opuntia ficus-indica* y la cáscara de papa tienen una mayor eficiencia como coagulante natural en la clarificación de las aguas, en comparación con las semillas de *Moringa oleífera* y el extracto de piña.

Los resultados del presente trabajo abren la posibilidad de evaluar otros residuos agroindustriales que reduzcan las consecuencias adversas del coagulante químico, sulfato de aluminio, en la salud humana. Además, de contribuir a minimizar el impacto ambiental negativo valorizando la eliminación de estos residuos.

Referencias bibliográficas

1. J. Martínez y L. Gonzáles, “Evaluación del poder coagulante de la Tuna (*Opuntia ficus indica*) para la remoción de turbidez y color en aguas crudas,” Trabajo de grado, Dept. Ing. Quim., Universidad de Cartagena, Cartagena, Colombia, 2012.
2. Naciones Unidas, “Objetivos de Desarrollo Sostenible | PNUD.” [En Línea]. Disponible en: <https://bit.ly/2Z7W8no>.
3. OMS, “2100 millones de personas carecen de agua potable en el hogar y más del doble no disponen de saneamiento seguro.” [En Línea]. Disponible en: <https://bit.ly/2TUFFB9>.
4. H. Zemmouri, M. Drouiche, A. Sayeh, H. Lounici., y N. Mameri, “Coagulation Flocculation Test of Keddara’s Water Dam Using Chitosan and Sulfate Aluminium,” *Procedia Eng.*, vol. 33, pp. 254–260, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.01.1202>
5. K. Riaños Donado, M. Meza Leones, y I. Mercado Martínez, “Clarification of the water of wetlands using a mixture of natural

- coagulants,” *DYNA*, vol. 86, n°. 209, pp. 73–78, abr. 2019. DOI: 10.15446/dyna.v86n209.73687
6. J. Pérez-Calderón, M. V. Santos., y N. Zaritzky, “Optimal clarification of emulsified oily wastewater using a surfactant/chitosan biopolymer,” *J. Environ. Chem. Eng.*, vol. 6, n°. 4, pp. 3808–3818, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2018.06.004>
 7. N.C. Cabrera Martínez, “Test of natural coagulants extracted from *Ipomoea incarnata* and *Moringa oleífera* in the purification of industrial wastewater in Cartagena de Indias,” *Prospectiva*, vol. 16, no. 2, pp. 94–99, ago. 2018. DOI: <https://doi.org/10.15665/rp.v16i2.1434>
 8. R. Guardián-López y J. Coto-Campos, “Estudio preliminar del uso de la semilla de tamarindo (*Tamarindus indica*) en la coagulación floculación de aguas residuales,” *TM*, vol. 24, n°. 2, pp. 18–26, 2011.
 9. N.H. Ab Razak, S. M. Praveena, A. Z. Aris, y Z. Hashim, “Drinking water studies: A review on heavy metal, application of biomarker and health risk assessment (a special focus in Malaysia),” *J. Epidemiol. Glob. Health*, vol. 5, n°. 4, pp. 297–310, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jegh.2015.04.003>
 10. Z. Wang, X. Wei, J. Yang, J. Suo, J. Chen, X. Liu, *et al.*, “Chronic exposure to aluminum and risk of Alzheimer’s disease: A meta-analysis,” *Neurosci. Lett.*, vol. 610, pp. 200–206, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2015.11.014>
 11. S. C. Bondy, “Low levels of aluminum can lead to behavioral and morphological changes associated with Alzheimer’s disease and age-related neurodegeneration,” *Neurotoxicology*, vol. 52, pp. 222–229, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.neuro.2015.12.002>
 12. A. Mirza, A. King, C. Troakes, y C. Exley, “Aluminium in brain tissue in familial Alzheimer’s disease,” *J. Trace Elem. Med. Biol.*, vol. 40, pp. 30–36, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2016.12.001>
 13. T. C. Russ, L. O. J. Killin, J. Hannah, G. D. Batty, I. J. Deary, y J. M. Starr, “Aluminium and fluoride in drinking water in relation to later dementia risk,” *Br. J. Psychiatry*, pp. 1–6, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1192/bjp.2018.287>
 14. H. Ramírez Arcila y J. Jaramillo Peralta, “Agentes Naturales como Alternativa para el Tratamiento del Agua,” *Rev. Fac. Ciencias Básicas*, vol. 11, no. 2, p. 136, 2016. DOI: <https://doi.org/10.18359/rfcb.1303>
 15. A. Sierra Julio, A. Navarro Silva, I. Mercado Martínez, y A. Flórez Vergara, “Remoción de la turbidez del agua del río Magdalena usando médula de banano,” *Rev. UIS Ing.*, vol. 18, n°. 4, pp. 131–138, 2019. DOI: <https://doi.org/10.18273/revuin.v18n4-2019012>
 16. R. Olivero Verbel, Y. Aguas Mendoza, I. Mercado Martínez, D. Casas Camargo., y L. Montes Gazabón, “Utilización de Tuna (*Opuntia ficus-indica*) como coagulante natural en la clarificación de aguas crudas,” *Av. Investig. en Ing.*, vol. 11, n°. 1, pp. 70–75, 2014. DOI: <https://doi.org/10.18041/1794-4953/avances.1.302>

17. C.-E. Narváez-Cuenca, C. Peña, L.-P. Restrepo-Sánchez, A. Kushalappa., y T. Mosquera, "Macronutrient contents of potato genotype collections in the *Solanum tuberosum* Group Phureja," *J. Food Compos. Anal.*, vol. 66, no. August 2017, pp. 179–184, mar. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2017.12.019>
18. MinAgricultura, "MinAgricultura analiza estrategias para fortalecer el sector de la papa en Colombia," 2018. [En Línea]. Disponible en: <https://doi.org/https://bit.ly/2ETPBCz>
19. J. Pérez, "Evaluación de la sustitución del agente coagulante (Sulfato de Aluminio) en el proceso actual de coagulación-floculación de agua potable en la empresa EAF SAS ESP," Trabajo de grado, Dept. Ing. Quim., Fundación Universidad de América, Bogotá D.C., Colombia, 2017.
20. E. Mompies y R. Martin, "Comportamiento del crecimiento y el rendimiento de la variedad de papa (*Solanum tuberosum* L) Spunta," *Cultiv. Trop.*, vol. 33, n°. 4, pp. 53–58, 2012.
21. S. Carrasquero, S. Montiel, E. Faría, P. Parra, J. Marín, y A. Díaz, "Efectividad de coagulantes obtenidos de residuos de papa (*Solanum tuberosum*) y plátano (*Musa paradisiaca*) en la clarificación de aguas," *Rev. Fac. Cienc. Básicas*, vol. 13, n°. 2, pp. 90–99, 2017. DOI: <https://doi.org/10.18359/rfcb.1941>
22. L. N. Alvarado Carmona, "Uso de las Cáscaras de Papa como Coagulante Natural en el Tratamiento de Aguas Potables de la Planta "La Diana"," *Publicaciones e Investig.*, vol. 6, p. 115, 2012. DOI: <https://doi.org/10.22490/25394088.1115>
23. A. Liseth, G. Luis, y G. Santiago, "Copépodos Planctónicos del complejo cenagoso de Malambo (Atlántico, Colombia) y su relación con algunos factores físicos y químicos del agua.," *Rev. Dugandia*, vol. 1, n°. 2, pp. 17–38, 2005.
24. M. Meza-Leones, K. Riaños Donado, I. Mercado Martínez, R. Olivero Verbel, y M. Jurado Eraso, "Evaluación del poder coagulante del sulfato de aluminio y las semillas de *Moringa oleífera* en el proceso de clarificación del agua de la ciénaga de Malambo-Atlántico," *Rev. UIS Ing.*, vol. 17, n°. 2, pp. 95–104, 2018. DOI: <https://doi.org/10.18273/revuin.v17n2-2018009>
25. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación ICONTEC, Norma Técnica Colombiana NTC 3903, Procedimiento para el método de Jarras en la coagulación del agua. Colombia, 1996.
26. Ministerio de la Protección social y Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, Resolución 2115 del 2007, Características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano. Bogotá D.C., Colombia, 2007.
27. C.R.A, "Diagnóstico ambiental: Plan de Gestión Ambiental Regional Departamento del Atlántico PGAR 2012-2022," 2012.

28. J. Dotto, M. R. Fagundes-Klen, M. T. Veit, S. M. Palácio, y R. Bergamasco, "Performance of different coagulants in the coagulation/flocculation process of textile wastewater," *J. Clean. Prod.*, vol. 208, pp. 656–665, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.112>
29. U. G. Martínez-Morris, C. E. Marquina-Gelvez, S. Carrasquero-Ferrer, M. E. Martínez-Soto, C. Rodríguez- Monroy, y A. T. Morris-Díaz, "El Extracto de Semillas de Mango (*Mangifera indica* L) como Coagulante Natural en la Potabilización de Aguas," en Proceedings of the 15th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: "Global Partnership for Development and Engineering Education," 2017, pp. 19–21. DOI: <https://doi.org/10.18687/LACCEI2017.1.1.227>
30. F. Paca Telenchano, "Evaluación de residuos vegetales de papa, yuca, camote y plátano, como coagulantes naturales para el tratamiento de aguas residuales procedentes de la industria láctea," Trabajo de grado, Dept. Ing Quim., Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador, 2017.
31. S. Hussain, A. S. Ghouri, y A. Ahmad, "Pine cone extract as natural coagulant for purification of turbid water," *Heliyon*, vol. 5, n°. 3, p. e01420, mar. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e01420>
32. M. Choudhary, M. B. Ray, y S. Neogi, "Evaluation of the potential application of cactus (*Opuntia ficus-indica*) as a bio-coagulant for pre-treatment of oil sands process-affected water," *Sep. Purif. Technol.*, vol. 209, n°. September 2018, pp. 714–724, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2018.09.033>