

EFFECTIVIDAD DE COAGULANTES OBTENIDOS DE RESIDUOS DE PAPA (*Solanum tuberosum*) Y PLÁTANO (*Musa paradisiaca*) EN LA CLARIFICACIÓN DE AGUAS

EFFECTIVINES OF COAGULANTS OBTAINED FROM RESIDUES OF POTATO (*Solanum tuberosum*) AND BANANA (*Musa paradisiaca*) IN WATER PURIFICATION

Sedolfo José CARRASQUERO FERRER*, Stefany MONTIEL FLORES, Emily Daniela FARÍA PERCHE, Paola María PARRA FERRER, Julio Cesar MARÍN LEAL, Altamira Rosa DÍAZ MONTIEL

Departamento de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (DISA), Escuela de Ingeniería Civil, Universidad del Zulia, Apartado postal 526, Maracaibo 4001-A, Venezuela.

*Autor Corresponsal. E-mail: scarrasquero@fing.luz.edu.ve

Historia del Artículo

Recibido: Junio 23, 2016

Evaluado: Noviembre 20, 2016

Aceptado: Enero 17, 2017

Disponible: Febrero 09, 2017

Resumen |

Se evaluó la eficiencia de remoción de turbidez y color utilizando coagulantes obtenidos de cáscaras de papa (*Solanum tuberosum*) y residuos de plátano (*Musa paradisiaca*) durante el tratamiento de aguas de baja, media y alta turbidez. Se prepararon soluciones turbias sintéticas con valores iniciales de 10, 15, 25, 75, 100 y 200 UNT. Se caracterizaron fisicoquímicamente las soluciones coagulantes preparadas a partir de cáscaras de papa y residuos de plátano mediante los parámetros: pH, color, turbidez, sólidos totales, disueltos y suspendidos. Se utilizó la prueba de Jarras para la determinación de las dosis óptimas de las soluciones coagulantes preparadas utilizando dosis de 10, 25, 50, 100, 250 y 500 mg/L para cada valor de turbidez inicial. Las mayores remociones de turbidez utilizando las soluciones coagulantes de cáscaras de papa y residuos de plátano fueron de 99,6 y 99,5% en el agua de 200 UNT con dosis de 50 y 25 mg/L, respectivamente. Para todas las pruebas de Jarras realizadas, se obtuvieron valores de pH después del tratamiento dentro del rango establecido en la norma sanitaria venezolana vigente. Se concluyó que las soluciones preparadas a partir de los residuos vegetales pueden ser utilizadas como coagulantes primarios en el tratamiento de aguas como alternativas frente al uso de coagulantes tradicionales.

Palabras Clave: clarificación, coagulantes naturales, residuos vegetales

Abstract |

Removal efficiency of turbidity and color was evaluated using natural coagulant derived from shells of potato (*Solanum tuberosum*) and waste of banana (*Musa paradisiaca*) during the treatment of waters of low, medium and high turbidity. Synthetic turbid solutions with tap water and kaolin were prepared with initial turbidity values of 10, 15, 25, 75, 100 and 200 NTU. pH, color, turbidity, total, dissolved and suspended solids was determined in the coagulating solutions prepared from potato peels and banana. Jar test was used to determine optimal doses of coagulants solutions prepared from vegetable waste with doses of 10, 25, 50, 100, 250 and 500 mg/L, for each value of initial turbidity. The higher turbidity removal obtained with *Solanum tuberosum* and *Musa paradisiaca* were 99.6 and 99.5%, in the water of 200 UNT, with doses of 50 and 25 mg/L, respectively. For all tests performed jars, pH values were obtained within the range established in the Venezuelan health standard. It was concluded that the coagulating solutions prepared from plant residues can be used as primary coagulants in water treatment, as alternatives to the use of traditional coagulants.

Keywords: clarification, natural coagulants, plant residues.

INTRODUCCIÓN |

El acceso al agua potable es importante tanto para la salud pública como para el desarrollo socioeconómico de un

país; la agricultura, ganadería, industria, comercio y la vida diaria depende del agua en cantidad y calidad suficiente. Su carencia, además de ser causa principal de pobreza, origina retrasos en el progreso de cualquier comunidad (ACF, 2011).

La calidad del agua potable es una preocupación creciente en los países en vías de desarrollo, debido a que las fuentes están bajo la amenaza creciente de la contaminación (Unicef, 2012).

Para que el agua pueda ser utilizada para diversas actividades, entre ellas para el consumo humano, es necesario un tratamiento, el cual puede abarcar las fases de coagulación, floculación, sedimentación, filtración, desinfección, entre otras (Fuentes et al. 2011). La coagulación consiste en añadir al agua productos químicos denominados coagulantes, los cuales neutralizan los coloides y los inducen a combinarse entre ellos para formar flóculos que son lo suficientemente grandes e inertes como para ser eliminados por sedimentación o filtración. La coagulación y la posterior floculación reducen la turbidez del agua, mejorando también la calidad microbiológica de la misma, precipitando organismos patógenos junto con la materia coloidal (ACF, 2011).

Las sales de aluminio e hierro son frecuentemente utilizadas como agentes coagulantes, por su efectividad y bajo costo (Torrellas, 2012). Se ha planteado que la exposición de aluminio es un factor de riesgo para el desarrollo de la enfermedad de Alzheimer en seres humanos, debido a ello se recomienda reducir su concentración en el agua tratada hasta 0,1 mg/L en plantas de tratamiento de gran tamaño, y hasta 0,2 mg/L en instalaciones pequeñas (OMS, 2011). Además, el uso de coagulantes químicos representa altos costos de adquisición, producción de grandes volúmenes de lodo y alteración del pH del agua tratada, por lo que es necesario la búsqueda de alternativas como los coagulantes de origen natural, los cuales son menos tóxicos, tanto para los seres humanos como para el medio ambiente (Guzmán et al. 2013).

Los coagulantes naturales resultan de gran interés para muchos investigadores debido a que son biodegradables, tienen un bajo costo, son de fuente abundante y son amigables con el medio ambiente (Asrafuzzaman et al. 2011). Semillas, almidones, gomas e inclusive cáscaras de algunas especies han sido evaluadas para la potabilización del agua, tales como: *Moringa oleifera* (Sandoval y Laines, 2013), *Cassia fistula* (Guzmán et al. 2015), *Cedrela odorata* (Mejías et al. 2010), *Musa paradisiaca* (Trujillo et al. 2014), *Solanum tuberosum* (Alvarado, 2011), *Cicera rietinum* (Asrafuzzaman et al. 2011), *Opuntia ficus-indica* (Lameda et al. 2014), *Tamarindus indica* (Hernández et al. 2013), entre otros.

El objetivo de esta investigación fue evaluar la eficiencia de remoción de turbidez y color utilizando coagulantes naturales obtenidos de cáscaras de papa (*Solanum tuberosum*) y residuos de plátano (*Musa paradisiaca*) durante el tratamiento de aguas sintéticas de baja, media y alta turbidez.

MATERIALES Y MÉTODOS |

Procesamiento de las cáscaras de papa (*Solanum tuberosum*)

Las cáscaras de papa (*Solanum tuberosum*) fueron recolectadas de diversos establecimientos de comida rápida ubicados en la ciudad de Maracaibo, estado Zulia, Venezuela. Las cáscaras de papa fueron lavadas con abundante agua, luego secadas a una temperatura de 100 °C durante 24 horas. El material obtenido fue triturado mediante el uso de un molinillo eléctrico (Oster). El polvo obtenido fue tamizado de manera manual por el cedazo No. 40 para su almacenamiento en recipientes plásticos y posterior uso en la preparación de la solución coagulante (Alvarado, 2011).

Procesamiento de los residuos de plátano (*Musa paradisiaca*)

Se recolectaron plátanos verdes (*Musa paradisiaca*) provenientes del casco central de la ciudad de Maracaibo, estado Zulia, Venezuela, que por sus características físicas fueron rechazados por los consumidores. Se utilizaron 2 kg de plátano verde, los cuales fueron pelados y picados en trozos de igual tamaño; se introdujeron en un recipiente que contenía un volumen de agua 6 veces mayor al peso de la muestra de plátano, y se sometieron a calentamiento por un período de 45 min, a una temperatura de 40 °C, siguiendo el procedimiento utilizado por Trujillo et al. (2014). Al concluir el proceso de calentamiento, el material obtenido fue triturado en una licuadora (Oster) y pasado por el tamiz No. 100, en donde fue lavado tres veces con la misma agua aplicada en la fase de calentamiento; el residuo retenido en el tamiz se sometió a secado en la estufa, a una temperatura de 40 °C por 24 horas, siguiendo la metodología reportada por Aparicio (2003). Finalizado el secado, el material fue retirado del horno y sometido nuevamente a un proceso de trituración. Posteriormente fue tamizado de forma manual, utilizando el cedazo No. 40; el material pasante fue almacenado en envases plásticos para ser utilizado en la preparación de la solución coagulante.

Preparación de las soluciones coagulantes a partir de los residuos procesados de papa (*Solanum tuberosum*) y plátano (*Musa paradisiaca*)

El procedimiento para la preparación de las soluciones coagulantes fue igual para ambos residuos vegetales. Se prepararon soluciones madre de 10.000 mg/L, se dispuso de un balón aforado de 1000 mL, al cual se le añadió agua de grifo hasta la mitad de su capacidad; seguidamente fueron agregados los 10 g de residuo vegetal e inmediatamente se enrasó el balón. Posteriormente, se introdujo un agitador magnético al balón aforado y fue colocado sobre una plancha de agitación por 2 horas continuas para obtener una mezcla homogénea. A partir de estas soluciones coagulantes, se obtuvo el rango de concentraciones ensayadas.

Caracterización de las soluciones coagulantes preparadas a partir de los residuos procesados de papa (*Solanum tuberosum*) y plátano (*Musa paradisiaca*)

En virtud de caracterizar las soluciones coagulantes y conocer las condiciones iniciales de las mismas, fueron medidos ciertos parámetros fisicoquímicos como turbidez (SM 2130B), color aparente (SM 2120B), pH (SM 4500B), sólidos totales (SM 2540B), sólidos disueltos totales (SM 2540C) y sólidos suspendidos totales (SM 2540D), siguiendo las metodologías estandarizadas para el análisis de aguas de APHA-AWWA-WEF (2005).

Preparación del agua turbia sintética (ATS)

El agua turbia sintética (ATS) fue preparada empleando la metodología sugerida por Okuda *et al.* (2001a), Okuda *et al.* (2001b), Más y Rubí *et al.* (2012) y Asrafuzzaman *et al.* (2011). Se adicionaron 5 g de caolín en 1000 mL de agua de grifo. Dicha suspensión se mezcló con un agitador magnético de forma continua durante una hora para lograr la dispersión uniforme del caolín; transcurrido ese tiempo, se dejó reposar durante 24 horas para la completa hidratación del material arcilloso. Por ser una suspensión estable, es utilizada para estudiar el mecanismo de coagulación, a pesar de no representar este modelo el agua real de cualquier ciudad (Ndabigengesere *et al.* 1995; López *et al.* 2008). Al transcurrir el período de hidratación de 24 horas, se procedió a medir la turbidez cada 5 min por una hora, para la elaboración de la curva de estabilidad de agua turbia sintética.

Posteriormente, se efectuaron sucesivas diluciones con agua de grifo hasta obtener diversos valores de turbidez, los cuales fueron verificados con un turbidímetro Orbeco-Hellige. Se establecieron valores iniciales de baja (10, 15 y 25 UNT), media (75 y 100 UNT) y alta turbidez (200 UNT), en base a lo establecido por Bina *et al.* (2009). Adicionalmente se midieron los parámetros de turbidez, color, pH y alcalinidad total mediante los métodos estandarizados de APHA-AWWA-WEF (2005) tanto a la solución madre como a las soluciones para los diferentes valores de turbidez.

Montaje y operación de las pruebas de coagulación

Para determinar la eficiencia como coagulante de cada una de las soluciones preparadas a partir de residuos vegetales (*Solanum tuberosum* y *Musa paradisiaca*) se llevó a cabo la prueba de Jarras aplicando dosis de 10, 25, 50, 100, 250 y 500 mg/L de las soluciones madre de 10.000 mg/L, tanto con la solución elaborada a partir de cáscaras de papa como con la elaborada a partir de residuos de plátano. Los ensayos se realizaron utilizando aguas sintéticas con turbideces iniciales de 10, 15, 25, 75, 100 y 200 UNT, preparadas mediante diluciones a partir de la solución madre de agua turbia sintética de 5.000 mg/L.

La prueba de Jarras se realizó con un equipo constituido por un agitador múltiple de seis paletas y velocidad variable (Phipps y Bird Inc., modelo 300). Para iniciar la prueba de jarras, se agregaron 500 mL de ATS en cada vaso de

precipitado; los seis vasos fueron colocados en el equipo, asignándole a cada recipiente una paleta. Luego, se realizó el proceso de coagulación/floculación y sedimentación, comenzando con una mezcla rápida a una velocidad de 100 rpm durante 1min, Seguidamente se llevó a cabo una mezcla lenta, reduciendo la velocidad a 40 rpm por 20 min, (Alvarado, 2011). Por último, se retiraron las muestras del equipo y se dejaron sedimentar por 30 min.

Al culminar el período de sedimentación se procedió a extraer la muestra sobrenadante de cada vaso. Posteriormente se determinaron los parámetros fisicoquímicos: turbidez, color aparente y pH, utilizando las metodologías estandarizadas de APHA-AWWA-WEF (2005).

Filtración de las muestras con dosis óptimas

Se consideraron como dosis óptimas de cada uno de los coagulantes en los diferentes niveles de turbidez, aquellas dosis que lograron la máxima remoción de turbidez y color (OMS, 2011) y que al mismo tiempo resultaron ser las dosis más bajas posibles entre las dosis efectivas (ACF, 2011).

Todas las muestras obtenidas al aplicar las dosis consideradas como óptimas de los coagulantes naturales fueron filtradas, utilizando un papel de filtro (Whatman) de 12,5 cm de diámetro, simulando el proceso de filtración que ocurriría en una planta de tratamiento, de acuerdo a lo sugerido por Parra *et al.* (2011). Luego del proceso de filtración, se procedió a medir los siguientes parámetros fisicoquímicos: turbidez, color verdadero, pH, alcalinidad total y sólidos totales (APHA-AWWA-WEF, 2005).

Diseño experimental

El experimento se condujo mediante un diseño completamente al azar, con un total de dos tratamientos (solución coagulante con cáscaras de papa y residuos de plátano) con tres repeticiones cada uno, donde se seleccionó el más eficiente. Los resultados de los parámetros fisicoquímicos medidos se expresaron utilizando estadística descriptiva, señalando los valores de tendencia central (media) y su dispersión (desviación estándar). Los resultados de las remociones de los parámetros fisicoquímicos color y turbidez se compararon mediante un análisis de varianza y separación de medias a través de la prueba de Tukey utilizando el programa estadístico SPSS versión 20.0.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN |

Caracterización fisicoquímica de las soluciones coagulantes

La caracterización fisicoquímica de las soluciones coagulantes obtenidas a partir de cáscaras de papa (*Solanum tuberosum*) y residuos de plátano (*Musa paradisiaca*) se presenta a continuación en la Tabla 1.

Tabla 1. Caracterización fisicoquímica de las soluciones coagulantes.

Parámetro	<i>S. tuberosum</i> Media ± DE	<i>M. paradisiaca</i> Media ± DE
pH	5,77 ± 0,02	7,12 ± 0,01
Color (UC Pt-Co)	45,0 ± 0,5	20,0 ± 0,5
Turbidez (UNT)	73,0 ± 1,2	91,0 ± 1,0

DE= Desviación estándar. n=3, n: Número de mediciones realizadas a cada parámetro.

Se puede observar que la solución coagulante de *Solanum tuberosum* presentó un pH ácido, mientras que la solución de *Musa paradisiaca* un pH aproximadamente neutro. Los valores de pH se encuentran dentro del rango reportado por otros investigadores para soluciones coagulantes preparadas por precursores naturales. Villabona *et al.* (2013) encontraron un pH de 6,19 unidades en la caracterización de una solución preparada a partir de *Opuntia ficus-indica*. Por otro lado, Lozano (2011) en su estudio del uso del extracto de fique (*Furcraea sp*) como coadyuvante natural reportó un pH de 4,91 unidades en una solución del extracto de fique preparada al 1%.

Ambas soluciones presentaron una turbidez media según la clasificación presentada por Bina *et al.* (2009), siendo superior la turbidez obtenida por la solución de *Musa paradisiaca*. Se realizó la prueba de solubilidad a las soluciones madre (10.000 mg/L) preparadas con los residuos vegetales. Estos resultados se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Sólidos determinados a las soluciones coagulantes.

Tipo de sólidos	<i>S. tuberosum</i> Media ± DE	<i>M. paradisiaca</i> Media ± DE
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	9000 ± 150	9700 ± 170
Sólidos disueltos totales (mg/L)	1000 ± 90	300 ± 110

DE= Desviación estándar. n=3, n: Número de mediciones realizadas a cada parámetro.

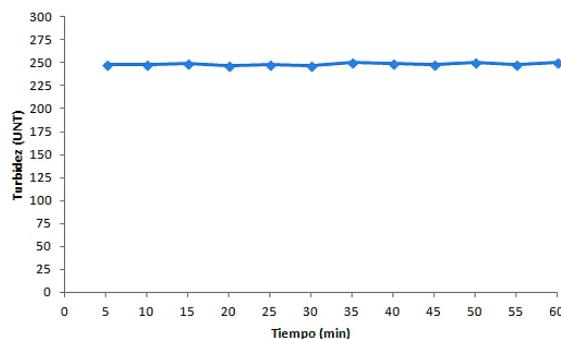
La concentración de sólidos suspendidos totales de las soluciones coagulantes preparadas a partir de cáscaras de papa y de residuos de plátano fueron de 9.000 y 9.700 mg/L, representando un porcentaje de solubilidad de 10 y 3%, respectivamente, para las soluciones de 10.000 mg/L. La baja solubilidad de las soluciones coagulantes es debido a que mayoritariamente estas soluciones están constituidas de almidón, un polisacárido que tiende a ser insoluble en el agua (FAO, 2002).

Los porcentajes de solubilidad son similares a los presentados por Cabrera *et al.* (2007), quienes caracterizaron químicamente el almidón proveniente de diversas variedades de plátano y banano, encontrando porcentajes de solubilidad comprendidos entre 0,80 y 3,83%. Salinas *et al.* (2003) estudiaron los cambios fisicoquímicos del almidón durante la nixtamalización del maíz, dichos autores encontraron porcentajes de solubilidad relativamente bajos (0,10 - 0,16%) a temperatura ambiente (25°C). En este sentido, Hernández *et al.* (2007) encontraron que la solubilidad de los almidones aumenta conforme se incrementa la temperatura, este incremento se da a partir de los 60-70°C.

Arboleda (2000) establece que las soluciones coagulantes obtenidas a partir de almidones tienen una baja solubilidad y el problema que presentan es que no generan compuestos solubles en agua a las temperaturas a las cuales se realizan los procesos de coagulación-floculación.

Estabilidad del agua turbia sintética (ATS)

Para comprobar la estabilidad del agua turbia sintética preparada se procedió a realizar un estudio de medición constante de turbidez a través del tiempo, se realizaron dichas mediciones cada 5 min hasta completar una hora registrando los valores obtenidos, se observó que dichas mediciones tuvieron una tendencia constante a lo largo del tiempo como se puede observar en la Figura 1. Las características del agua turbia sintética son presentadas en la Tabla 3.

**Figura 1.** Estabilidad del agua turbia sintética (ATS).**Tabla 3.** Características del agua turbia sintética (ATS).

Parámetro	Media ± DE
pH	6,93 ± 0,02
Color aparente (UC Pt-Co)	45 ± 0,00
Turbidez (UNT)	249,33 ± 2,30
Alcalinidad total (mg CaCO ₃ /L)	800 ± 21,20

DE: Desviación estándar. n=3, n: Número de mediciones realizadas a cada parámetro.

Determinación de la eficiencia de las soluciones coagulante de cáscaras de papa (*Solanum tuberosum*) y residuos de plátano (*Musa paradisiaca*) para diferentes niveles de turbidez inicial

Los valores de turbidez decantada después de la prueba de Jarra aplicando la solución de cáscaras de papa se presentan en la Figura 2. Se obtuvo que la menor remoción se produjo al aplicar una dosis de 50 mg/L para un agua de 15 UNT, disminuyendo hasta 11,5 UNT, lo que representó un porcentaje de remoción de 23,1%; y la mayor remoción se obtuvo al aplicar una dosis de 500 mg/L en un agua de 200 UNT, disminuyendo hasta 4,3 UNT, lo que representó un porcentaje de remoción de 97,8%. Por lo que el rango de efectividad en la remoción de turbidez se encontró entre 23,1 y 97,8% para los niveles de turbidez analizados.

La solución coagulante de cáscaras de papa fue más efectiva en aguas de alta turbidez (200 UNT), ya que para todas las dosis empleadas porcentajes de remoción mayores

al 97%. En aguas de media turbidez (75 y 100 UNT) se presentaron remociones superiores a 80%, mientras que para las aguas de turbidez baja (10 y 15 UNT) el porcentaje de remoción fue mucho menor, encontrándose remociones superiores a 23% pero inferiores a 55%.

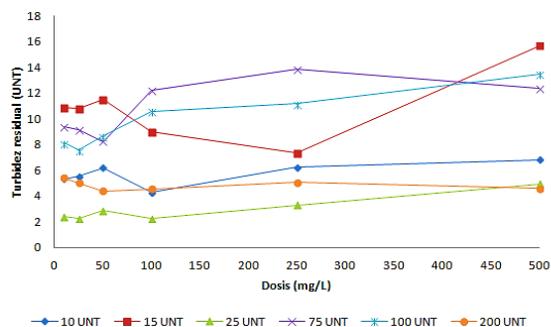


Figura 2. Variación de la turbidez residual en función de la dosis de la solución de cáscaras de papa (*Solanum tuberosum*) para diferentes valores de turbidez inicial.

Al comparar los valores de turbidez decantada con lo establecido en la normativa sanitaria venezolana contemplada en la Gaceta Oficial (1998), se observa que para la dosis de 100 mg/L en el agua con una turbidez inicial de 10 UNT, las dosis de 50, 100 y 500 mg/L para el agua con turbidez inicial de 200 UNT, y para todas las dosis empleadas para el agua con turbidez inicial de 25 UNT, se alcanzó una remoción suficiente para cumplir con el valor máximo aceptable de turbidez para el agua potable exigido (5 UNT).

Para la solución coagulante preparada a partir de residuos de plátano (*Musa paradisiaca*), los valores de turbidez decantada son presentados en la Figura 3, en la cual se puede observar que para todas las dosis empleadas en las aguas con distintas turbidencias iniciales se produjo una disminución de la misma. Se obtuvo que la menor remoción se produjo al aplicar una dosis de 250 mg/L para un agua de 15 UNT, disminuyendo hasta 13,4 UNT, lo que representa un porcentaje de remoción de 10,7%; y la mayor remoción se obtuvo al aplicar una dosis de 25 mg/L en un agua de 200 UNT, disminuyendo hasta 10,9 UNT, lo que representa un porcentaje de remoción de 94,5%, por lo que el rango de efectividad fue muy amplio.

Al comparar los valores de turbidez decantada presentados en la Figura 3 con lo establecido en la normativa sanitaria venezolana, se observa que la dosis de 50 mg/L empleada en el agua con turbidez inicial de 10 UNT y todas las dosis empleadas para el agua con turbidez inicial de 25 UNT alcanzaron la remoción suficiente para cumplir con el valor máximo aceptable de 5 UNT establecido en la norma (Gaceta Oficial, 1998).

Se infiere que la remoción de turbidez en las aguas sintéticas se realizó por adsorción – formación de puente interparticular y captura por barrido, debido a que las cáscaras de papa y los residuos de plátano poseen mayoritariamente almidón en su composición, aportando

moléculas poliméricas de alto peso molecular compuestas por largas cadenas de iones, que pueden adsorber químicamente las partículas coloidales en uno o más puntos fijos de adsorción, dejando el resto de la cadena libre, de forma que pueda flotar en el líquido y adherirse a su vez a otro coloide, formando así un puente molecular que une una partícula con otra, la repetición de este fenómeno entre diversas partículas es lo que permite la aglutinación de ellas en masas.

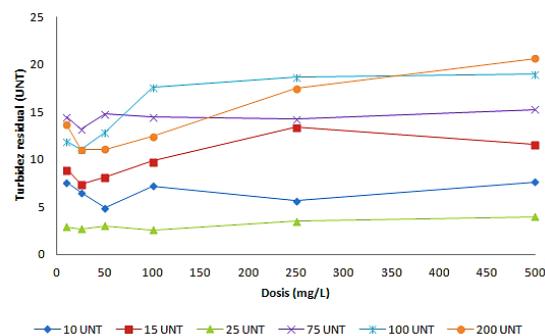


Figura 3. Variación de la turbidez residual en función de la dosis de la solución de residuos de plátano (*Musa paradisiaca*) para diferentes valores de turbidez inicial.

Tester et al. (2004) explicaron que el almidón pertenece a los carbohidratos más complejos o polisacáridos, el cual posee un polímero lineal soluble (amilosa), por cada molécula de amilosa será característico tener entre 25 y 2.500 monómeros de glucosa; además posee también un polímero ramificado no soluble (amilopectina), por cada molécula de amilopectina será característico tener entre 300 a 6.000 monómeros de glucosa lo que corresponde a unas 15 a 300 ramificaciones, lo que explica el hecho de que a pesar de la baja solubilidad presentada por los coagulantes, aun así se produjeron remociones altas de turbidez debido a que la gran cantidad de ramificaciones que presenta permitió la unión de coloides y la formación del floc en un tamaño adecuado que le permitió precipitar.

La efectividad de remoción en aguas de baja turbidez para ambos coagulantes (*Solanum tuberosum* y *Musa paradisiaca*) fue superior a la reportada por Lameda et al. (2014) luego de emplear *Opuntia ficus-indica* en aguas de baja turbidez, dichos autores reportaron un porcentaje de remoción de 73,9% empleando una dosis de 125 mg/L en aguas con turbidez inicial de 30 UNT.

Sin embargo, los resultados obtenidos para ambos coagulantes naturales en aguas con turbidez inicial de 10 y 15 UNT fueron inferiores a los reportados en la investigación realizada por Mejías et al. (2010), quienes empleando como coagulante natural el exudado gomoso de *Cedrela odorata*, obtuvieron porcentajes de remoción de 65,0; 76,7 y 86% en aguas con turbidez inicial de 10, 15 y 25 UNT, respectivamente, empleando una dosis óptima de 20 mg/L.

En aguas con media turbidez, el coagulante de cáscaras de papa fue más efectivo que el coagulante de residuos de plátano. De igual manera, los resultados de remoción de turbidez obtenidos por ambos coagulantes también pueden compararse a los obtenidos por Caldera et al. (2007) quienes emplearon en su investigación un coagulante obtenido a partir de *Moringa oleifera*, y reportaron porcentajes de remoción de 80,1% al aplicar una dosis de 500 mg/L en aguas con turbidez inicial de 75 UNT, siendo mayor la efectividad tanto del coagulante de *Solanum tuberosum* como la del coagulante de *Musa paradisiaca*, empleando una dosis mucho menor.

En este sentido, la efectividad de remoción de turbidez obtenida por ambos coagulantes fue superior a la reportada por Hernández et al. (2013), quienes utilizaron un coagulante obtenido a partir de semillas de tamarindo (*Tamarindus indica*), el cual presentó una eficiencia de remoción de turbidez de 73,5% al emplear una dosis de 612 mg/L en aguas con turbidez inicial de 100 UNT.

Para el parámetro color, ambas soluciones coagulantes (*Solanum tuberosum* y *Musa paradisiaca*) siguieron la misma tendencia luego de su aplicación, dichos valores son presentados en la Tabla 4 y 5. Para las aguas con turbideces bajas (10, 15 y 25 UNT) y medias (75 y 100 UNT) se obtuvieron valores de color residual de 7,50 y 10 UC; en el caso de aguas con alta turbidez (200 UNT) el color residual obtenido fue de 10 UC para todas las dosis aplicadas; produciéndose en todos los casos una disminución de color al compararlo con el color inicial.

El mayor porcentaje de remoción de color se obtuvo para aguas de media turbidez (75 y 100 UNT), ya que ambas presentaron un color inicial de 40 UC y este se redujo a 7,50 UC luego de la aplicación de los coagulantes, representado esto una remoción de color de 81,3%, observándose el mismo comportamiento en la mayoría de las dosis empleadas.

Tabla 4. Variación del color residual (UC) en función de la dosis de la solución de cáscaras de papa (*Solanum tuberosum*) para diferentes valores de turbidez inicial.

Turbidez inicial (UNT)	Color Inicial (UC)	Dosis (mg/L)						
		10	25	50	100	250	500	
10	20	10	10	10	7,5	7,5	7,5	
15	20	10	10	7,5	7,5	7,5	7,5	
25	25	10	7,5	10	7,5	7,5	7,5	
75	40	10	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	
100	40	10	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	
200	40	10	10	10	10	10	10	

Se obtuvieron valores de color aparente que cumplieron con el máximo aceptable establecido en la norma sanitaria venezolana contemplada en la Gaceta Oficial (1998), el cual es de 15 UC, ya que todos los valores residuales se encontraron por debajo de dicho valor. Los valores finales de color, se asemejan a los obtenidos por Alvarado (2011), quien utilizando solución coagulante de cáscara de papa (*Solanum tuberosum*) reportó valores de color después del tratamiento

menores a 10 UC, para aguas con un valor inicial de color de 44 UC.

La remoción de color alcanzada fue superior a la obtenida por Caldera et al. (2007), quienes empleando *Moringa oleifera* reportaron una disminución de color de 50% en aguas con turbidez inicial de 75 y 150 UNT. De igual manera, la remoción fue similar a la obtenida por Fuentes et al. (2011), quienes reportaron en su estudio utilizando un coagulante extraído de *Stenocereus griseus* (Haw.) Buxb remociones de color de 75% en aguas con turbidez inicial de 80 UNT, y 80% en aguas con turbidez inicial de 100 UNT.

Tabla 5. Variación del color residual (UC) en función de la dosis de la solución de residuos de plátano (*Musa paradisiaca*) para diferentes valores de turbidez inicial.

Turbidez inicial (UNT)	Color Inicial (UC)	Dosis (mg/L)						
		10	25	50	100	250	500	
10	20	10	10	10	7,5	7,5	7,5	
15	20	10	10	7,5	7,5	7,5	7,5	
25	25	10	7,5	10	7,5	7,5	7,5	
75	40	10	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	
100	40	10	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	
200	40	10	10	10	10	10	10	

Los valores de pH luego de la aplicación del coagulante de cáscaras de papa (*Solanum tuberosum*) son presentados en la Figura 4. El mayor valor de pH fue de 7,37 unidades para un agua de 10 UNT al aplicarle una dosis de 100 mg/L, mientras que el valor más bajo fue de 6,50 unidades para un agua de 200 UNT al aplicarle una dosis de 500 mg/L. Por lo que el rango obtenido estuvo comprendido entonces entre 6,50 y 7,37 unidades.

Se puede observar que dicho parámetro sigue una tendencia de disminución al comparar el pH final con el pH inicial para la mayoría de las dosis del coagulante para las distintas turbideces. Este comportamiento también fue reportado por Alvarado (2011), quien usando una solución de coagulante preparada a partir de cáscaras de papa reportó una disminución de pH de 7,76 hasta 7,46 unidades.

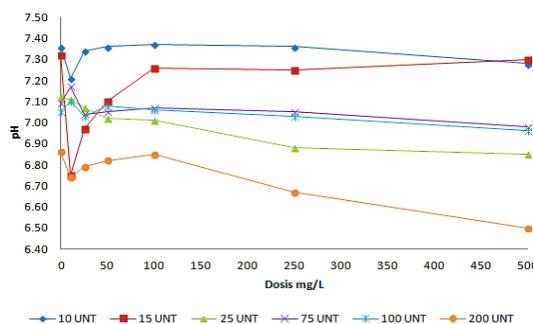


Figura 4. Variación del pH residual en función de la dosis de la solución de cáscaras de papa (*Solanum tuberosum*) para diferentes valores de turbidez inicial.

En la Figura 5 se presentan los valores de pH obtenidos para el coagulante preparado de residuos de plátano (*Musa paradisiaca*). El rango obtenido para pH osciló entre 6,94 y 7,61 unidades. Cabe destacar que los valores de pH obtenidos

después de la aplicación de ambos coagulantes naturales para todas las dosis aplicadas en las aguas con las distintas turbideces estudiadas, cumplieron con lo establecido en la norma sanitaria venezolana contemplada en la Gaceta Oficial (1998), la cual exige que dicho parámetro debe ubicarse dentro del rango de 6,5 y 8,5 unidades; lo que está en concordancia con lo reportado por diversos investigadores de otros coagulantes naturales como quitosano (Bina et al. 2009), *Stenocereus griseus* (Haw.) Buxb. (Fuentes et al. 2011), *Opuntia wentiana* (Parra et al. 2011), los cuales han demostrado que la aplicación de coagulantes obtenidos de fuentes naturales no alteran significativamente el parámetro pH.

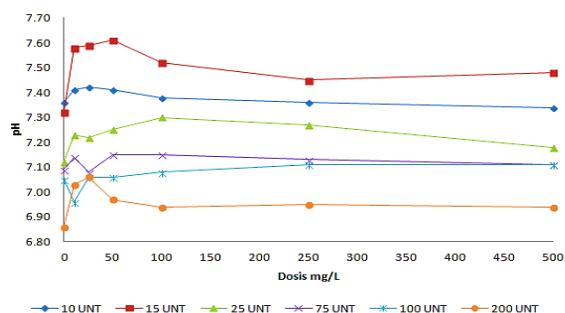


Figura 5. Variación del pH residual en función de la dosis de la solución de residuos de plátano (*Musa paradisiaca*) para diferentes valores de turbidez inicial.

La comparación de los resultados obtenidos después del proceso de coagulación, floculación y sedimentación correspondiente a las dosis óptimas de cada tratamiento y el correspondiente análisis estadístico se presenta en la Tabla 6.

Del análisis estadístico realizado se obtuvo que para las bajas turbideces iniciales (10 y 15 UNT) no existieron diferencias significativas ($p > 0,05$) entre los coagulantes naturales elaborados a partir de cáscaras de papa y residuos de plátano. Para aguas de turbidez media (75 y 100 UNT) y alta (200 UNT) se obtuvo que existieron diferencias significativas ($p \leq 0,05$) en la remoción de turbidez entre los dos tratamientos aplicados, siendo el más eficiente el

tratamiento con la solución elaborada a partir de las cáscaras de papa.

Valores obtenidos luego de la filtración de las muestras con dosis óptimas de los coagulantes de cáscaras de papa (*Solanum tuberosum*) y residuos de plátano (*Musa paradisiaca*) para diferentes niveles de turbidez

Para las aguas tratadas con las dosis óptimas luego del proceso de coagulación-floculación y sedimentación, se llevó a cabo una filtración para simular el proceso completo de clarificación que se realiza en plantas potabilizadoras, y determinar si el proceso de filtración mejora la calidad del efluente. Los resultados obtenidos para el coagulante de cáscaras de papa (*Solanum tuberosum*) son presentados en la Tabla 7.

La menor remoción de turbidez se produjo para un agua con turbidez inicial de 15 UNT utilizando una dosis de 250 mg/L, ya que luego de filtrada se obtuvo una turbidez promedio de 0,82 UNT, lo que representa una remoción de 94,6%. Por otro lado, la mayor remoción de turbidez se obtuvo para un agua con turbidez inicial de 200 UNT con una dosis óptima de 50 mg/L, ya que luego de la filtración se obtuvo una turbidez promedio de 0,87 UNT, lo que representó una efectividad del 99,6%, obteniéndose de esta forma un rango de efectividad entre 94,6 y 99,6%.

Con respecto a dicho parámetro se observa que se mantiene la misma tendencia que antes del filtrado, en aguas con alta turbidez (200 UNT) se obtuvo la mayor remoción, seguido de aguas con media turbidez (75 y 100 UNT) y para las aguas con bajas turbidez restante (10 y 15 UNT) se obtuvieron los porcentajes más bajos, ligeramente superiores a 94% pero menores al 95%.

Para el coagulante de residuos de plátano (*Musa paradisiaca*), los resultados de efectividad de remoción de turbidez se encontraron entre 93,1 y 99,5%. Todos los valores de turbidez obtenidos después del filtrado cumplieron con lo establecido en la norma sanitaria venezolana (Gaceta Oficial, 1998), tanto con el valor máximo aceptable como con el valor deseable de turbidez del agua potable, que debe menor a 1 UNT.

Tabla 6. Comparación entre los tratamientos los coagulantes naturales en aguas sintéticas de baja turbidez inicial.

To (UNT)	Coagulante	Dosis (mg/L)	Color (UC)	Remoción de color (%)	Turbidez (UNT)	Remoción de turbidez (%)	pH
10	CCP	100	7,5	62,5	4,29 ± 0,25	57,1 ^a ± 2,5	7,36 ± 0,01
	CRP	50	7,5	62,5	4,54 ± 0,07	54,6 ^a ± 0,8	7,40 ± 0,02
15	CCP	250	7,5	62,5	7,32 ± 0,67	51,2 ^b ± 4,5	7,26 ± 0,02
	CRP	25	7,5	62,5	7,38 ± 0,12	50,8 ^b ± 0,8	7,55 ± 0,04
25	CCP	25	7,5	70,0	2,22 ± 0,11	91,1 ^a ± 0,4	7,07 ± 0,02
	CRP	25	7,5	70,0	2,68 ± 0,11	89,7 ^a ± 0,4	7,25 ± 0,03
	CCP	50	7,5	81,3	8,25 ± 0,70	89,0 ^b ± 0,9	7,03 ± 0,02
75	CRP	25	7,5	81,3	13,20 ± 0,50	82,4 ^b ± 0,7	7,08 ± 0,02
	CCP	25	7,5	81,3	7,55 ± 0,47	92,5 ^a ± 0,5	7,03 ± 0,01
100	CRP	25	7,5	81,3	11,07 ± 0,44	88,9 ^b ± 0,4	7,08 ± 0,02
	CCP	50	10	75,0	4,60 ± 0,20	97,7 ^a ± 0,1	6,79 ± 0,03
200	CRP	25	10	75,0	10,95 ± 0,62	94,5 ^b ± 0,3	7,06 ± 0,02

n=3, n: Número de mediciones realizadas a cada parámetro. CCP: Solución coagulante preparada a partir de cáscaras de papa. CRP: Solución coagulante preparada a partir de residuos de plátano. SA: Sulfato de aluminio. To: Turbidez inicial. Media seguida por letras distintas en cada fila indica diferencias significativas según la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$).

Tabla 7. Valores obtenidos luego de filtrar las muestras con dosis óptimas del coagulante de cáscaras de papa (*Solanum tuberosum*) y con dosis óptima del coagulante de residuos de plátano (*Musa paradisiaca*) para diferentes niveles de turbidez.

Turbidez inicial (UNT)	Dosis óptima (mg/L)	Turbidez filtrada	%Remoción de turbidez	Color inicial (UC Pt-Co)	Color filtrado (UC Pt-Co)	%Remoción de color	pH	Alcalinidad total (mg CaCO ₃ /L)	Sólidos totales (mg/L)
S. tuberosum									
10	100	0,54 ± 0,04	94,6 ± 0,4	20	2,5	87,5	7,26 ± 0,03	143 ± 50	133 ± 100
15	250	0,82 ± 0,05	94,6 ± 0,3	20	2,5	87,5	7,34 ± 0,04	117 ± 6	240 ± 174
25	25	0,67 ± 0,09	97,3 ± 0,4	25	2,5	90,0	7,13 ± 0,03	120 ± 26	120 ± 40
75	50	0,66 ± 0,03	99,1 ± 0,1	40	2,5	93,8	7,15 ± 0,04	113 ± 6	160 ± 139
100	25	0,73 ± 0,07	99,3 ± 0,1	40	2,5	93,8	7,12 ± 0,04	127 ± 15	160 ± 106
200	50	0,87 ± 0,15	99,6 ± 0,1	40	2,5	93,8	6,98 ± 0,09	123 ± 23	133 ± 93
M. paradisiaca									
10	50	0,69 ± 0,08	93,1 ± 0,8	20	2,5	87,5	7,41 ± 0,05	133 ± 32	253 ± 83
15	25	0,69 ± 0,11	95,4 ± 0,7	20	2,5	87,5	7,21 ± 0,08	117 ± 12	120 ± 40
25	25	0,63 ± 0,12	97,5 ± 0,5	25	2,5	90,0	7,47 ± 0,05	117 ± 6	107 ± 23
75	25	0,82 ± 0,07	98,9 ± 0,1	40	2,5	93,8	7,29 ± 0,04	137 ± 15	67 ± 46
100	25	0,81 ± 0,21	99,2 ± 0,2	40	2,5	93,8	7,29 ± 0,06	120 ± 10	80 ± 40
200	25	0,96 ± 0,28	99,5 ± 0,1	40	2,5	93,8	7,27 ± 0,04	133 ± 15	133 ± 83

n=3. N: número de mediciones realizadas

De acuerdo a los resultados obtenidos se evidencia la efectividad que tiene el filtrado en la clarificación de aguas para consumo, los porcentajes de remoción de turbidez aumentaron considerablemente sobre todo en aguas con turbideces inicial de 10 UNT y 15 UNT. Según Arboleda (2000), las aguas con turbideces menores a 20 UNT son las más difíciles de tratar debido a la baja concentración de coloides que poseen (disminuyendo la probabilidad de colisión entre las partículas), por lo que se dificulta el proceso de coagulación.

Cánepa *et al.* (2004) establece que la fase de filtración es la responsable de la producción de agua de calidad, debido a que permite remover las partículas presentes en el efluente tratado. Se infiere que la turbidez presente en el agua sedimentada luego de la coagulación-floculación se debía a partículas suspendidas que no sedimentaron en el tiempo establecido en la investigación, pero como se observa que el porcentaje de remoción de turbidez aumentó significativamente luego del filtrado, se puede concluir que los coagulantes produjeron flóculos de tamaño adecuado que pudieron ser retenidos por el filtro y así ser removidos.

Comparando la efectividad alcanzada por ambos coagulantes estudiados se observa que el coagulante de cáscaras de papa fue más efectivo ($p \leq 0,05$) en aguas con turbidez inicial de 10 UNT, a su vez el coagulante obtenido de residuos de plátano fue más efectivo ($p \leq 0,05$). que el coagulante de cáscaras de papa en aguas con turbidez inicial de 15 UNT; y ambos coagulantes presentaron igual efectividad ($p > 0,05$). en aguas con turbidez inicial de 25 UNT.

Los resultados logrados por ambos coagulantes fueron superiores a los obtenidos por Parra *et al.* (2011) luego del filtrado, al emplear la dosis óptima de coagulante natural extraído del mucílago de *Opuntia wentiana* (Britton & Rose) (*Cactaceae*), la cual fue de 600 mg/L para aguas con turbidez

inicial de 200 UNT llegando a alcanzar un porcentaje de remoción luego del filtrado igual a 98,3%.

En cuanto al color para ambos coagulantes, se presentó una remoción para todas las aguas con distintas turbideces iniciales luego de la aplicación de las respectivas dosis óptimas de los coagulantes, observándose la misma tendencia antes del filtrado, presentando un color de 2,5 UC para todos los casos. El color obtenido para todas las muestras cumple con lo establecido en la norma sanitaria venezolana (Gaceta Oficial, 1998), respecto al valor máximo aceptable (15 UC) y el valor deseable (5 UC)

El porcentaje de remoción de color obtenido después de la aplicación del coagulante de las cáscaras de papa y residuos de plátano y de su posterior filtrado, fue de 93,8%, el cual es mayor al obtenido por Gutiérrez (2013), en su investigación empleando la *Opuntia ficus-indica* (desecada), los cuales luego del filtrado fueron de 91 y 90% en aguas con turbideces iniciales de 100 y 200 UNT, respectivamente.

El rango de pH obtenido para las aguas tratadas con el coagulante de cáscaras de papa luego del filtrado fue de 6,98 a 7,34 unidades. El parámetro pH sufrió ligeras variaciones cuando se comparan los valores antes y después del filtrado. Por su parte luego de la aplicación del coagulante de residuos de plátano, el rango de pH obtenido luego del proceso de filtración fue de 7,21 a 7,47 unidades.

Todos los valores de pH obtenidos para ambos coagulantes cumplieron con lo establecido en la norma sanitaria (Gaceta Oficial, 1998) respecto al valor deseable de pH del agua potable, el cual debe estar comprendido entre 6,5 – 8,5 unidades.

Los valores de alcalinidad total después del tratamiento oscilaron entre 113 y 143 mgCaCO₃/L cuando se aplicó la solución con cáscaras de papa, y 117 y 137 mgCaCO₃/L cuando se utilizó la solución con residuos de plátano. La

norma sanitaria venezolana (Gaceta Oficial, 1998) no establece valores restrictivos de alcalinidad en el agua potable, sin embargo, Arboleda (2000) establece que esta viene a actuar como una solución amortiguadora que evita el brusco descenso del pH, lo que tendría repercusiones a nivel operativo, ya que un pH final muy bajo puede producir que la coagulación no se realice o se realice pobremente, además de hacer al agua corrosiva.

De Sousa et al. (2010) establecen que una alcalinidad en los sistemas de distribución de agua de 70 a 110 mg CaCO₃/L permite sobrepasar el producto de solubilidad del carbonato de calcio y asegura la formación de capas de protección natural contra los procesos de corrosión en la mayoría de las tuberías en las redes de distribución de agua.

Respecto a los sólidos totales, el menor valor obtenido en promedio para el coagulante de cáscaras de papa fue de 120 mg/L, en un agua con turbidez inicial de 25 UNT aplicando una dosis óptima de 25 mg/L; el mayor valor en promedio obtenido fue de 240 mg/L, en un agua con turbidez inicial de 15 UNT con una dosis óptima de 250 mg/L. Para el coagulante de residuos de plátano el menor valor obtenido en promedio fue de 66,67 mg/L en un agua con turbidez inicial de 75 UNT, aplicando una dosis óptima de 25 mg/L; el mayor valor en promedio obtenido fue de 253,33 mg/L, en un agua con turbidez inicial de 15 UNT, con una dosis óptima de 50 mg/L.

Todos los valores de sólidos totales obtenidos cumplen con lo establecido en la norma sanitaria venezolana (Gaceta Oficial, 1998) respecto al valor deseable de sólidos totales presentes en el agua potable, el cual debe ser menor a 600 mg/L.

CONCLUSIONES |

La solución coagulante de cáscaras de papa fue más efectiva en aguas de alta turbidez (200 UNT), ya que para todas las dosis empleadas se obtuvieron porcentajes de remoción mayores al 97% antes de la filtración, y superiores a 99% luego de esta operación. La mayor remoción de turbidez y color aparente se produjo al emplear una dosis óptima de 50 mg/L.

A su vez, la solución coagulante de residuos de plátano también fue mayormente efectiva en aguas de alta turbidez, obteniendo para todas las dosis empleadas, porcentajes de remoción mayores a 89% antes del filtrado, y por encima de 99% luego de él. La mayor remoción de turbidez y color aparente se alcanzó al emplear una dosis óptima de 25 mg/L.

El parámetro color luego del tratamiento cumplió para ambos coagulantes naturales con la normativa sanitaria venezolana vigente con respecto al valor máximo aceptable (15 UC) para todas las dosis y turbideces antes de filtrar; luego del proceso de filtrado se logró cumplir con el valor deseable (5 UC), también establecido en dicha norma.

Las soluciones preparadas a partir de residuos vegetales pueden ser utilizadas como coagulantes primarios durante la potabilización de aguas debido a que la combinación coagulación, floculación, sedimentación y filtración permitió generar un efluente que cumpliera con los niveles deseables de color y turbidez establecidos en la normativa venezolana sanitaria vigente.

REFERENCIAS |

- Alcalde P. y Barbiche J. (2011). Agua, saneamiento e higiene para las poblaciones en riesgo. Cuarta edición. Hermann Éditeurs. París, 862 pp.
- Alvarado L. 2012. Uso de las cáscaras de papa como coagulante natural en el tratamiento de aguas potables de la planta La Diana. Revista Especializada en Ingeniería de Procesos en Alimentos y Biomateriales, 6:115-121.
- American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation (APHA-AWWA-WEF). 2005. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21st edition. American Public Health Association. Washington D.C., 714 pp.
- Aparicio M. 2003. Caracterización fisicoquímica de los almidones nativos modificados de yuca (*Manihot esculenta* Crantz), Camote (*Ipomoea batata* (L) Lam) y plátano Valery (*Musa cavendish*). Tesis Doctoral. Instituto Tecnológico de Veracruz. Veracruz, .
- Arboleda J. 2000. Teoría y práctica de la purificación del agua. Tomo 1. Editorial McGraw-Hill. Bogotá, 1155 p.
- Asrafuzzaman M, Fakhruddin A y Hossain, M. 2011. Reduction of turbidity of water using locally available natural coagulants. ISRN Microbiology, 2011:1-6.
- Bina B, Mehdinejad M, Nikaeen M y Movahedian H. 2009. Effectiveness of chitosan as natural coagulant aid in treating turbid waters. Iran. J. Environ. Health. Sci. Eng., 6(4):247-252.
- Cabrera A, Madrígal L y Vázquez J. 2007. Extracción y caracterización química de almidón de plátano y banano de las variedades FHIA-01, 20, 21 y 23. Memorias del IX Congreso de ciencia de los alimentos y V Foro de ciencia y tecnología de alimentos. Guanajuato, México. 306-314.
- Caldera Y, Mendoza I, Briceño L, García J y Fuentes L. 2007. Eficiencia de las semillas de *Moringa oleifera* como coagulante alternativo en la potabilización del agua. Bol. Centro Invest. Biol., 41(2):244-254.
- De Sousa C, Correia A y Colmenares M. 2010. Corrosión e incrustaciones en los sistemas de distribución de agua potable: Revisión de las estrategias de control. Bol. Mal. y Salud Amb., 1(2):187-196.
- Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (Unicef). 2012. Agua, saneamiento e higiene. http://www.unicef.org/spanish/wash/index_43106.html. Consulta marzo de 2016
- Fuentes L, Mendoza I, López Á, Castro M y Urdaneta C. 2011. Efectividad de un coagulante extraído de *Stenocereus griseus* (Haw.) Buxb. en la potabilización del agua. Rev. Téc. Ing. Univ. Zulia., 34(1):48-56.
- Gaceta Oficial de Venezuela. (1998). Normas sanitarias de calidad del agua potable. No. 36.395, de fecha 13 de febrero de 1998. Caracas, Venezuela.
- Gutiérrez M. (2013). Evaluación del uso de *Opuntia ficus-indica* en la clarificación de aguas para el consumo humano. Trabajo de grado, Programa de Maestría en Ingeniería Ambiental, Universidad del Zulia. Maracaibo, 116 pp.
- Guzmán L, García R, Villabona Á y Tejada C. 2013. Reducción de la turbidez del agua usando coagulantes naturales: una revisión. Rev. U.D.C.A. Act. & Div. Cient., 16(1):253-262.
- Guzmán L, Taron A y Núñez A. 2015. Polvo de la semilla *Cassia fistula* como coagulante natural en el tratamiento de agua cruda. Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, 13(2):123-129.
- Hernández B, Mendoza I, Salamanca M, Fuentes L y Caldera Y. 2013. Semillas de tamarindo (*Tamarindus indica*) como coagulante en aguas con alta turbiedad. REDIELUZ, 3(1-2):91-96.
- Hernández M, Torruco J, Chel L y Betancur, D. 2007. Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán, México. Cienc. Tecnol. Aliment. Campinas, 28(3):718-726.
- Lameda P, Negrelli C, Hidalgo C y Fuentes L. 2014. Clarificación de aguas de baja turbidez empleando el coagulante *Opuntia ficus-indica*. REDIELUZ, 4(1):44-48.

- López Y, Díaz A, Vargas L, Más y Rubí M, Colina G, Sulbarán B, Peña J. 2008. Eficiencia de las semillas *Leucaena leucocephala* y *Albizia lebbek* en el proceso de coagulación del agua. Bol. Centro Invest. Biol., 42(1):1-20.
- Lozano W. 2011. Uso del extracto de fique (*Furcraea* sp.) como coadyuvante de coagulación en tratamiento de efluentes de pastelería. Producción + Limpia, 6(1):21-34.
- Cánepa L., Maldonado V., Barrenechea A. 2004. Tratamiento de agua para consumo humano. Plantas de filtración rápida. Manual I, Tomo II. Editorial OPS/CEPIS. Lima, Perú. 306 p.
- Más y Rubí M, Martínez D, Carrasquero S, Rincón A y Vargas, L. 2012. Eficiencia de las semillas de *Hymenaea courbaril* como coagulante natural en el proceso de clarificación del agua. REDIELUZ, 2(2):123-128.
- Mejías D, Delgado M, Más y Rubí M, Chacín E y Fernández, N. 2010. Uso potencial del exudado gomoso de *Cedrela odorata* como agente coagulante para el tratamiento de las aguas destinadas a consumo humano. Revista Forestal Venezolana, 54 (2):147-153.
- Ndabigengesere A, Subba N y Talbot B. 1995. Active agents and mechanism of coagulation of turbid waters using *Moringa oleifera*. Water Res., 29(2):703-710.
- Okuda T, Baes A, Nishijima W y Okada M. 2001a. Coagulation mechanism of salt solution-extracted active component in *Moringa oleifera* seeds. Wat. Res., 35(3):830-834.
- Okuda T, Baes A, Nishijima W y Okada M. 2001b. Isolation and characterization of coagulant extracted from *Moringa oleifera* seed by salt solution. Wat. Res., 35(2):405-410.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). 2002. Nutrición humana en el mundo en desarrollo. <http://www.fao.org/docrep/006/w00735/w0073500.htm>. Consulta mayo de 2016
- Organización Mundial de la Salud (OMS). 2011. Guidelines for Drinking-water quality. Cuarta edición. Ginebra, Suiza. pp. 1-490.
- Parra Y, Cedeño M, García M, Mendoza I, González Y y Fuentes L. 2011. Clarificación de aguas de alta turbidez empleando el mucílago de *Opuntia wentiana* (Britton & Rose) (Cactaceae). REDIELUZ, 1(1):27-33.
- Salinas Y, Herrera J, Castillo J y Pérez P. 2003. Cambios físico-químicos del almidón durante la nixtamalización del maíz en variedades con diferente dureza de grano. ALAN, 53(2):189-193.
- Sandoval M y Laines J. 2013. *Moringa oleifera* una alternativa para sustituir coagulantes metálicos en el tratamiento de aguas superficiales. Ingeniería, 17(2):93-101.
- Tester R, Karkalas J y Qi X. 2004. Starch composition, fine structure and architecture. Journal Cereal Science, 39:151-165.
- Torrellas R. 2012. La exposición al aluminio y su relación con el ambiente y la salud. Tecnogestión, 9(1):3-11.
- Trujillo D, Duque L, Arcila J, Rincón A, Pacheco S y Herrera O. 2014. Remoción de turbiedad en agua de una fuente natural mediante coagulación/floculación usando almidón de plátano. Rev. ION, 27(1):17-34.
- Villabona Á, Paz I y Martínez J. 2013. Caracterización de la *Opuntia ficus-indica* para su uso como coagulante natural. Rev. Colomb. Biotecnol., 15(1):137-144.