

# TRATAMIENTO DE AGUA CONTAMINADA CON METALES PESADOS, UTILIZANDO COMO MEDIOS FILTRANTES BIO-RESINA INTERCAMBIADORA DE CATIONES DE LA CÁSCARA Y MATA DE GUINEO Y CARBÓN ACTIVADO DE ENDOCARPO DE COCO

*TREATMENT OF CONTAMINATED WATER WITH HEAVY METALS, UTILIZING AS FILTERING MEDIA A CATION EXCHANGER BIO-RESIN FROM THE BANANA PEEL AND BUSH AND ACTIVATED CARBON FROM COCONUT ENDOCARP*

**Alma Verónica García.**

Ingeniera Química.

Docente Investigadora de la Escuela de Ingeniería Química.

ITCA-FEPADE Sede Central, Santa Tecla.

alma.garcia@itca.edu.sv

Recibido: 01/06/2018 - Aceptado: 15/06/2018

## Resumen

En este trabajo de desarrollo experimental, la Escuela de Ingeniería Química de ITCA-FEPADE se propuso comprobar la efectividad de las cáscaras y pseudotallo de guineo y el endocarpo de coco, previamente tratados, para remover contaminación por metales pesados en una muestra de agua. Para tal objeto, se procesaron dichas biomásas para ser utilizadas como medios filtrantes, los cuales se caracterizaron por medio de pruebas físicas: densidad y tamaño de partícula. Se evaluó su efectividad para remover metales, filtrando agua contaminada con cantidades conocidas de metales pesados tales como hierro, cromo y níquel ( $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Cr}^{6+}$  y  $\text{Ni}^{2+}$ ), variando el tiempo de contacto y tipo de medio filtrante. La cuantificación de los metales en el agua tratada se llevó a cabo por espectrofotometría de absorción atómica: para el níquel ( $\lambda = 232.0 \text{ nm}$ ); hierro, ( $\lambda = 248.3 \text{ nm}$ ) y cromo hexavalente, ( $\lambda = 357.9 \text{ nm}$ ). Además, se determinó el color en los filtrados por el método de platino - cobalto. Se llegó a la conclusión que las biomásas utilizadas en este estudio resultaron efectivas para la disminución de metales pesados y color en la muestra de agua sintética elaborada en el laboratorio.

## Palabras clave

Bioresina de intercambio iónico, metales pesados, biomasa, carbón activado, residuos agrícolas.

## Abstract

In this experimental development work, the Escuela de Ingeniería Química at ITCA-FEPADE set out to verify the effectiveness from the banana peels and pseudostem and also the coconut endocarp, previously treated, to remove heavy metals contamination from a water sample. For this purpose, said biomasses were processed to be used as filtering media, which were characterized through diverse physical tests: density and particle size. Its effectiveness to remove metals was evaluated by filtering water contaminated with known quantities of heavy metals such as iron, chromium and nickel ( $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Cr}^{6+}$  y  $\text{Ni}^{2+}$ ), varying the contact period of time and the filtering medium type. The quantification of the metals in the treated water was carried out with atomic absorption spectrophotometry: for nickel ( $\lambda = 232.0 \text{ nm}$ ); iron, ( $\lambda = 248.3 \text{ nm}$ ) and hexavalent chromium, ( $\lambda = 357.9 \text{ nm}$ ). In addition, the color of the filtered was determined through the platinum-cobalt method. It was concluded that the biomasses used in this study resulted to be effective to reduce heavy metals and color from the synthetic water sample made in the laboratory.

## Keyword

Ion exchange bioresin, heavy metals, biomass, activated carbon, agricultural waste.

## Introducción

En El Salvador la calidad del agua todavía es un problema socio-ambiental [1] que se ve afectada principalmente por desechos domésticos, industriales, agroindustrias y agrícolas. En un afán por presentar soluciones para disminuir el impacto ambiental por la descarga de aguas residuales con presencia de metales pesados se formuló en el año 2015 la investigación: “Elaboración de una bio-resina intercambiadora de cationes para eliminar metales pesados en aguas a partir de cáscara de plátano o guineo”, la cual arrojó resultados positivos, pero con potencial de ser mejorados. En el año 2017 se desarrolló una investigación, cuyo objetivo fue eliminar totalmente la presencia de cromo, hierro y níquel en una muestra de agua contaminada sintética, así como eliminar las interferencias de color e instrumentales que afectaron los resultados de la investigación anterior.

En este proyecto se procesaron las biomásas de estudio, cáscaras de guineo y coco y pseudotallo de la mata de guineo para obtener medios filtrantes. A dichos medios se les caracterizó con pruebas físicas: densidad y tamaño de partícula, para detectar si estas propiedades tienen alguna relación con su capacidad adsorbente. A la muestra de agua se le practicaron dos tipos de tratamiento: 1) pasando por los filtros arreglados en

“serie” y 2) pruebas independientes con la bioresina de cáscara de guineo y el pseudotallo, para comparar su capacidad intercambiadora de cationes. En el proceso se evaluó el efecto de la variación de las siguientes condiciones: tiempo de contacto y tipo de medio filtrante. La cuantificación de la concentración de los metales pesados de estudio en el agua filtrada se llevó a cabo por espectrofotometría de absorción atómica.

Después de finalizada la fase experimental, se llegó a la conclusión que: la bio-resina obtenida de cáscara de guineo, a la cual se le disminuyó su tamaño de partícula promedio, sigue siendo efectiva para disminuir la concentración de metales pesados en agua contaminada. Además, que el pseudotallo de mata de guineo también exhibe capacidades adsorbentes que permitieron capturar cromo, hierro y níquel de la muestra de agua, así como disminuir el color originado en el proceso de filtrado con la bio-resina de cáscara de guineo. También, se obtuvieron resultados positivos con el carbón activado de la cáscara de coco, pues redujo en 82% la coloración de la muestra de agua. Se concluyó que los materiales lignocelulósicos tienen magníficas propiedades como adsorbentes, por lo cual son ideales para ser utilizados en tratamiento de aguas residuales [2] [3] [4].

## Desarrollo

### Metodología.

Esta investigación fue de tipo experimental y retrospectiva, además de poseer un carácter exploratorio. A los medios filtrantes obtenidos se les realizaron pruebas de densidad y tamaño de partícula. Se evaluó su efectividad para remover metales, filtrando agua contaminada con cantidades conocidas de metales pesados ( $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Cr}^{6+}$  y  $\text{Ni}^{2+}$ ) variando el tiempo de contacto. La cuantificación de los metales en el agua filtrada se llevó a cabo por espectrofotometría de absorción atómica: para el níquel ( $\lambda = 232.0 \text{ nm}$ );

hierro, ( $\lambda = 248.3 \text{ nm}$ ) y cromo hexavalente, ( $\lambda = 357.9 \text{ nm}$ ). Además se determinó el color en los filtrados por el método de platino - cobalto.

### 1. Parte Experimental.

Se realizó en las siguientes etapas:

#### Elaboración de bio-resina intercambiadora de cationes a partir de cáscara de guineo.

Las cáscaras tanto de plátano (*Musa balbisiana*) y de guineo (*Musa paradisiaca*) fueron secadas y tratadas como puede apreciarse en la Figura 1.



Figura 1. Recolección, secado y triturado de las cáscaras de guineo y plátano. Fuente: Elaboración propia



Figura 2. Proceso de elaboración de carbón activado a partir de mesocarpo y endocarpo de coco. Fuente: Elaboración propia

**Elaboración de medio filtrante del pseudotallo de mata de guineo.**

A los pseudotallos de la mata de guineo se les retiró la corteza externa; se procedió a cortarlo lo más fino posible y se utilizó “fresco” en el proceso de filtrado.

**Obtención de carbón activado de la cáscara de coco.**

A las cáscaras de coco se les retiró el exocarpio y endosperma, solo se conservó el mesocarpo y endocarpo y se trató como se ilustra en la figura 2.

**Caracterización de medios filtrantes.**

Tanto a la bioresina de cáscara de guineo, como al pseudo tallo de mata de guineo y al carbón activado se les realizaron pruebas de densidad o gravimetría y de tamaño de partícula.

**Densidad.**

La densidad se determinó por método indirecto o gravimetría. En la Tabla 1 se presentan los resultados.

Tabla No 1. Resultado de pruebas fisicoquímicas a medios filtrantes.

Prueba	Bioresina de cáscara de guineo	Pseudotallo de mata de guineo	Carbón activado de cáscara de coco
Densidad promedio	593.99 g / L	150.80 g / L	331.27 g / L

Fuente: Elaboración propia

Puede notarse que las densidades de las biomásas de estudio son relativamente bajas, si se las compara con resinas de intercambio iónico sintéticas que se encuentra en el mercado, cuyos valores oscilan entre 600 g/L - 800 g/L.

**Tamaño de partícula.**

Esta característica fue determinada por medio

de un ensayo con tamices acoplados en cascada; posteriormente se calcularon los porcentajes de retención en cada tamiz. Los tamaños de partícula para la biorresina de cáscara de guineo y el carbón activado de cáscara de coco se han representado gráficamente:

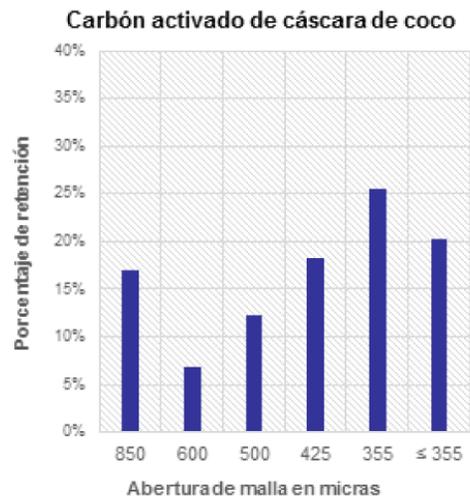
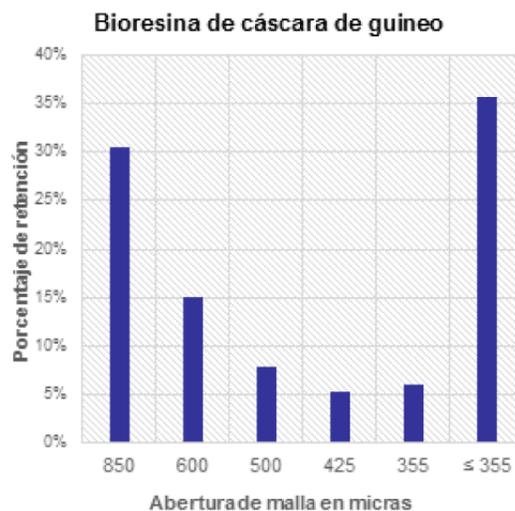


Figura No 3. Comparación de resultados de porcentaje de retención vs. apertura de malla en micras de bioresina de cáscara de guineo y carbón activado de la cáscara de coco. Fuente: Elaboración propia

En cuanto a la bioresina de cáscara de guineo, su tamaño de partícula es más fino que el obtenido en la investigación anterior [5], pero no es uniforme, presenta mucha heterogeneidad. Del carbón activado de la cáscara de coco se puede decir que también presenta heterogeneidad en cuanto a su tamaño de partícula.

## 2. Pruebas de Filtración con los Medios Obtenidos

Para cada medio filtrante se variaron cantidades y tiempos de contacto, el experimento se detuvo hasta que se observaron cambios significativos en el color del agua (pues las xantofilas y pigmentos presentes en la cáscara de guineo colorean el agua). La muestra de agua utilizada se fabricó en el laboratorio, tenía una concentración de 20 ppm de los siguientes metales Fe<sup>3+</sup>, Cr<sup>6+</sup> y Ni<sup>2+</sup>, se preparó a partir de una dilución de una solución stock multielementos, con contenido de 1,000 ppm de los siguientes metales: Ag, Al, B, Ba, Cr, Cu, Fe, Ni, entre otros.

El proceso de filtrado de la muestra de agua contaminada se realizó en "serie", es decir, primero se trató con la bioresina de cáscara de guineo, el filtrado de esta primera etapa se puso en contacto con el pseudo tallo de mata de guineo y por último, se trató la muestra con carbón activado de la cáscara de coco. En la Tabla No 2 se puede leer el resumen de todo este procedimiento.

Tabla No 2. Condiciones de filtrado con cada medio

Medio filtrante	Cantidad de medio filtrante (gramos)	Volumen de agua tratado (mL)	Tiempo de contacto
Primera etapa: Bioresina de cáscara de guineo	30.0	350.0	90 min.
Segunda etapa: Pseudo tallo de mata de guineo	150.0	300.0	20 hrs.
Tercera etapa: Carbón activado de cáscara de coco	30.0	300.0	19 hrs.

Fuente: Elaboración propia

### Cuantificación de metales pesados después de la filtración.

Una vez recolectados todos los filtrados, se cuantificó la concentración de metales pesados (níquel, hierro y cromo) en la muestra de agua, para ello se utilizó un espectrofotómetro de absorción atómica.

Se elaboraron las curvas de calibración respectivas, a las cuales se les hizo un ajuste con estándar interno.

Para calcular el porcentaje de remoción del hierro, cromo y níquel en la muestra de agua tratada con cáscara y pseudotallo de guineo, se utilizó la siguiente formula:

$$\text{Porcentaje de remoción de metal } X = \frac{(C_0 - C_f)}{C_0} * 100$$

En donde:

C<sub>0</sub> = Concentración en ppm inicial del metal (hierro, cromo o níquel) en la muestra de agua.

C<sub>f</sub> = Concentración en ppm final del metal (hierro, cromo o níquel) en la muestra de agua.

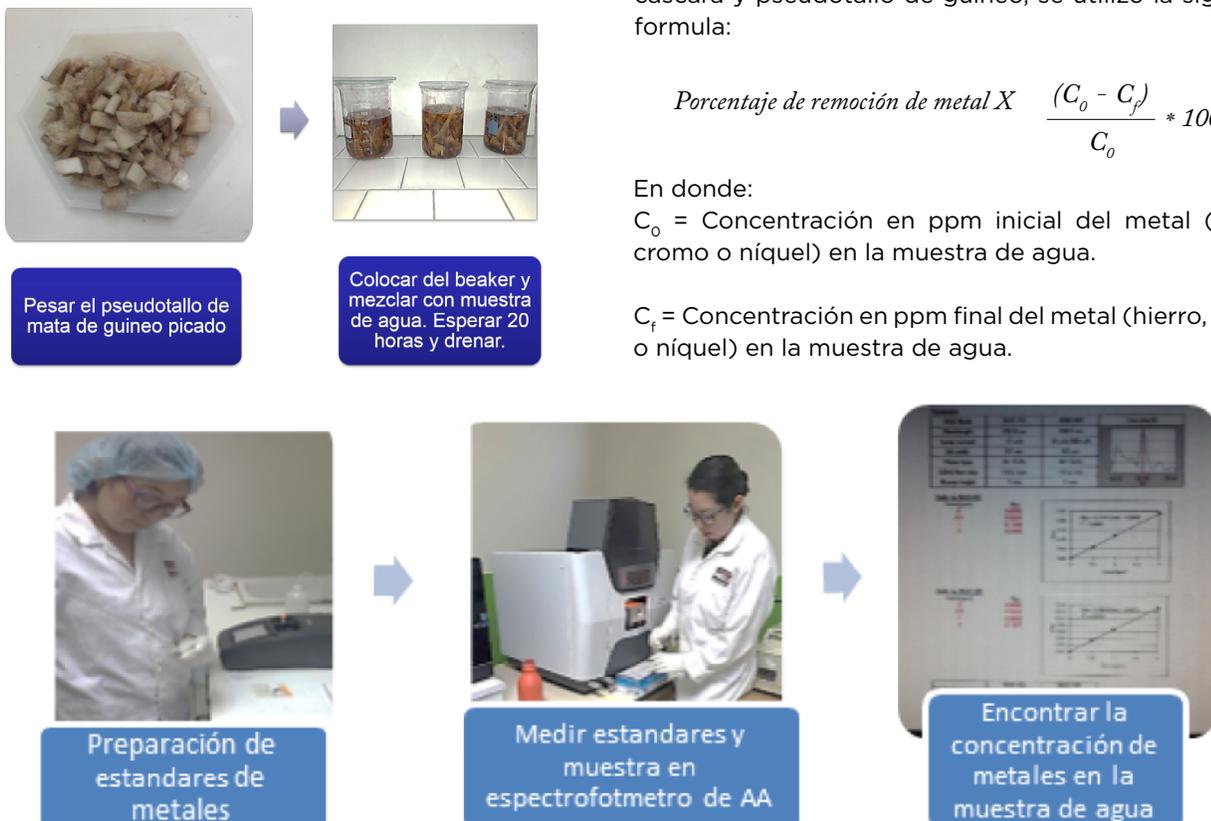


Figura 4. Análisis de las muestras de agua por espectrofotometría de absorción atómica. Fuente: Elaboración propia

Los resultados se presentan en términos comparativos de reducción de metales pesados, para apreciar la capacidad de retener hierro, níquel y cromo de la bioresina de cáscara de guineo y el pseudotallo de mata de guineo. Como se muestra a continuación:

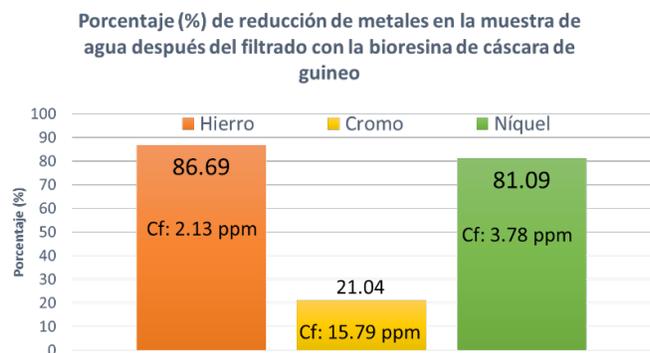


Figura No 5. Comparativo del porcentaje de reducción de cromo, hierro y níquel en la muestra de agua filtrada con bioresina de cáscara de guineo. Fuente: Elaboración propia

Puede apreciarse que la bioresina tuvo mayor afinidad química con el hierro, de ahí su mayor porcentaje de remoción (casi 87%), le sigue el níquel, y por último, el que menos cambio experimentó en la muestra de agua, fue el cromo con solo un 21% de retención en la bioresina.

A la muestra de agua procedente del tratamiento anterior, se la filtró con pseudotallo de mata de guineo, tomando en cuenta que esta vez, la concentración inicial (Co) de metales pesados no era de 20 ppm. Las nuevas concentraciones iniciales y finales, así como los porcentajes de remoción se muestran en la siguiente figura.

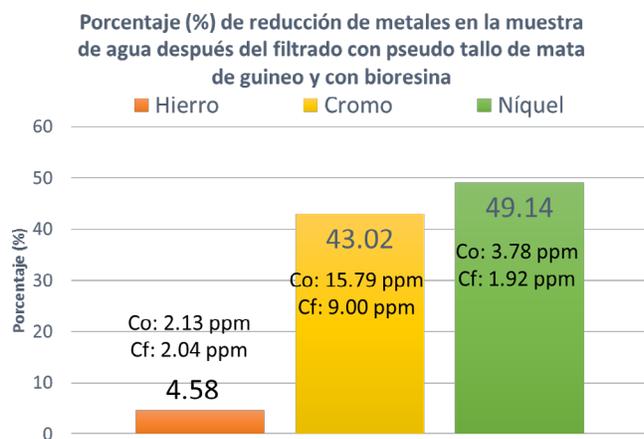


Figura No 6. Comparativo del porcentaje de reducción de cromo, hierro y níquel en la muestra de agua filtrada con pseudotallo de mata de guineo. Fuente: Elaboración propia

Puede observarse que para el filtrado con el pseudotallo, los resultados son totalmente diferentes. Pues ahora, el metal que prácticamente no experimentó ningún cambio en su concentración fue el hierro (solo 4.58% de reducción), con el cromo y el níquel se obtienen importantes porcentajes de retención, pero distan de ser iguales o mejores que los conseguidos con la bioresina de cáscara de guineo.

### Determinación de color aparente después de las filtraciones.

Esta característica fue evaluada en la muestra de agua fabricada en el laboratorio por medio del método de platino cobalto. La muestra antes del filtrado era transparente y presentaba un valor de cero unidades de color Pt-Co. Se calculan las unidades de color por medio de la siguiente ecuación:

$$\text{Unidades de color Pt-Co} = A \times \text{FD}$$

Donde:

A = Color estimado de la muestra

FD = Factor de dilución de la muestra.

En la siguiente tabla se presentan los resultados que corresponden a las unidades de color en la muestra de agua, después de haber sido tratada con cada medio:

Tabla No 3. Unidades de color (Pt - Co) de la muestra de agua después de cada proceso de filtrado

Medio filtrante	Unidades de color Pt - Co
Bioresina de cáscara de guineo (pH: 3.3)	9,000 u
Pseudotallo de mata de guineo (pH: 4.8)	2,292 u
Carbón activado de cáscara de coco (pH: 9.3)	417 u

Fuente: Elaboración propia

### 3. Pruebas de Filtrado Independientes.

Con el fin de evaluar la capacidad intercambiadora de cationes del pseudotallo de mata de guineo, sin la influencia previa del efecto de la bioresina de cáscara de guineo. Se desarrollaron ensayos adicionales e independientes para hacer un comparativo entre ambos medios filtrantes y determinar cuál es el mejor medio para remover metales pesados del agua.

Se procedió a replicar las condiciones que se utilizaron para el ensayo con la bioresina con cáscara de guineo. Se trataron 350 mL de muestra de agua (por triplicado) con una concentración inicial de 20 ppm de Fe, Cr y Ni. Se

utilizaron 30 gramos de pseudotallo de mata de guineo y el tiempo de contacto en el filtro fue de 90 minutos aproximadamente, para ambos casos. Los resultados de ambos ensayos se muestran a continuación:

mayor capacidad intercambiadora de cationes si se la compara con el pseudotallo de mata de guineo.

#### 4. Análisis de Resultados

##### De la densidad de los medios filtrantes.

La bioresina de cáscara de guineo, con una densidad de 593.99 g/L, tiene un valor que está próximo al rango de las resinas de intercambio iónico que se comercializan en el mercado (600 g/L - 800 g/L) [6]. La explicación en el aumento en el valor de la densidad respecto a la investigación pasada [5], en donde se obtuvo una densidad de 339.17 g/L, es porque en esta investigación se trituró con un molinillo eléctrico, lo cual disminuyó el tamaño de partícula, haciendo el material más "compacto", ocupando menor volumen para una mayor cantidad de materia. En cuanto al pseudotallo de mata de guineo su relativa baja densidad (150.80 g/L) es debido a que es un material fibroso, con aire en su interior. De la densidad del carbón activado de la cáscara de coco (331.27 g/L), se puede decir que el material obtenido a nivel de laboratorio se encuentra en el rango de los productos similares en el mercado (290 g/L - 550 g/L) y que está más cercano a la densidad de los carbones activados en polvo [7].

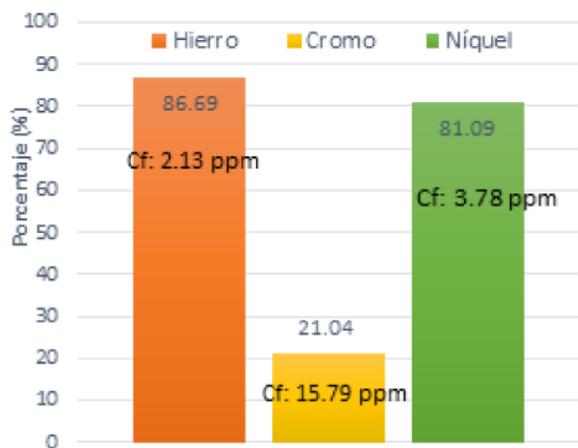
##### Tamaño de partícula.

En cuanto a la bioresina de cáscara de guineo, su tamaño de partícula es más fino que el obtenido en la investigación anterior [5], pero no es uniforme, presenta mucha heterogeneidad, lo cual puede explicar parcialmente su comportamiento diferente en la retención de metales pesados. Del carbón activado de la cáscara de coco se puede decir que mientras menor es el tamaño de partícula, el carbón activado granular adsorbe con mayor rapidez, aunque ocasiona una mayor caída de presión. La malla 80 suele considerarse como la frontera entre carbón activado granular y carbón activado en polvo [8]; por los resultados obtenidos en el laboratorio puede observarse que el material es bastante heterogéneo y que el mayor porcentaje de partículas son de un tamaño mayor o igual a 355 micras, categorizándose como carbón activado granular.

##### Tratamiento de la muestra de agua con la bioresina de cáscara de guineo.

Los resultados de los porcentajes de retención de los metales que se lograron en esta investigación de: 21.04 % de Cr6+, 86.69% de Fe3+ y 81.09 % de Ni2+, reflejan una drástica disminución en la concentración de hierro y níquel, mientras que para el cromo, la afinidad con la bioresina es mucho menor, su capacidad de intercambiar cationes se adjudica a que posee un grupo carboxilo unido a una matriz de un polímero tridimensional, lignina [9] [10] [11].

Porcentaje (%) de reducción de metales en la muestra de agua después del filtrado con la bioresina



Porcentaje (%) de reducción de metales en la muestra de agua después del filtrado con pseudotallo (ensayo independiente)

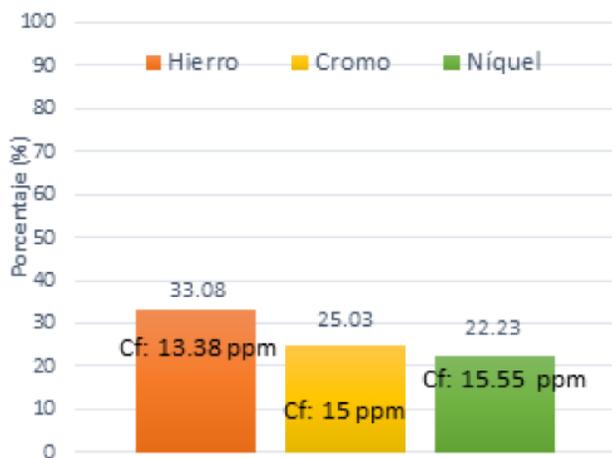


Figura No 7. Comparación de porcentajes de reducción de metales pesados en la muestra de agua, entre bioresina de cáscara y pseudotallo de mata de guineo (pruebas independientes). Fuente: Elaboración propia

Se observa que, aun en condiciones idénticas de operación, la bioresina de cáscara de guineo tiene

### Tratamiento de la muestra de agua con pseudotallo de mata de guineo.

Para un tiempo de contacto de 20 horas y 150 gramos de material filtrante, se determinó que el pseudo tallo tiene el potencial para retener cromo (43.02%), hierro (4.58%) y níquel (49.14%). La explicación química de este comportamiento de captar cationes es debido a que es un material compuesto por polímeros tales como: celulosa, hemicelulosas, pectina, lignina y proteína. La superficie celulósica se vuelve parcialmente cargada negativamente cuando se sumerge en agua y por lo tanto, posee interacción colúmbica con especies catiónicas en agua [12]. En cuanto a las propiedades del pseudotallo de mata de guineo para remover color del agua, se puede explicar que, los materiales lignocelulosicos y en concreto sustratos vegetales que

tienen abundancia de grupos carboxilo y amino, son eficaces para el tratamiento de aguas con colorantes textiles [13] [14]

### Tratamiento de la muestra de agua con carbón activado de cáscara de coco.

Con el objetivo de eliminar el color pardo amarillento en la muestra de agua, originado por carotenos y xantofilas presentes en las cáscaras de guineo, a los filtrados resultantes de los tratamientos previos, con bioresina y mata de guineo, se les puso en contacto con carbón activado, durante 19 horas. Obteniendo como resultado una disminución de color de alrededor de 82%. Al final la muestra terminó con un valor de 417 unidades de color Pt-Co.

## Conclusiones y Recomendaciones

- Se determinó que al reducir el tamaño de partícula de la cáscara de guineo y cambiar el método de cuantificación de metales pesados en agua, a espectrofotometría de absorción atómica en lugar de absorción molecular, la selectividad y capacidad para capturar cationes muestra un comportamiento muy diferente respecto a la investigación anterior, al compararse con los resultados obtenidos en esta experiencia. En la investigación anterior se obtuvieron los siguientes porcentajes de remoción de metales pesados: 84.99 % de Cr<sup>6+</sup>, 71.89% de Fe<sup>3+</sup> y 23.57 % de Ni<sup>2+</sup> [5]; y en la presente investigación los porcentajes de remoción de metales pesados fueron Cr<sup>6+</sup> (21.04%), Fe<sup>3+</sup> (86.69%) y Ni<sup>2+</sup> (81.09%). Esta diferencia de remoción podría deberse a que, en la investigación previa, hubo interferencias por la coloración de la muestra y por el tipo instrumental.
- El pseudotallo de mata de guineo, por ser un material lignocelulósico tiene propiedades similares a la bioresina de cáscara de guineo. Fue capaz de capturar cationes en menor proporción, con la ventaja que no transmite color al medio filtrado; por el contrario, ayudó a reducir la presencia de color en las muestras de agua debido a que está constituido por grupos carboxilo y amino.
- El carbón activado del endocarpo de coco fue efectivo para remover en un 82% color en las muestras de agua; se podría mejorar este resultado cambiando el método de activación físico, con vapor de agua utilizado en esta investigación por uno químico, lo cual aumentaría el tamaño de poro ideal para aplicaciones en tratamiento de aguas residuales.
- Ampliar los resultados de esta investigación al diseño de un equipo, a nivel industrial o residencial, que elimine los metales pesados en aguas residuales utilizando biomásas de diferente tipo.
- Se recomienda continuar con el desarrollo experimental con el objetivo de remover metales pesados en agua contaminada y obtener agua de calidad apta para consumo humano.

## Referencias

- [1] E. J. Campos, S. Q. Yada y A. M. Vásquez, Sistematización "Caso contaminación por plomo ocasionado por la empresa Baterías de El Salvador. S.A de C.V y el proceso de lucha impulsado por la población afectada". San Salvador: Centro de Tecnología Apropiada (CESTA), 2009 [En línea]. Disponible en: [http://www.cesta-foe.org.sv/home/](http://www.cesta-foe.org.sv/home/Pubs/Investigacion%20completa.pdf)
- [2] O. Amuda, A. Giwa y I. Bello, «Removal of heavy metal from industrial wastewater using modified activated coconut shell carbon,» Biochemical Engineering Journal, vol. 2, n° 36, pp. 174-181, 2007. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.bej.2007.02.013>. ps:

- [3] S. Babel y T. A. Kurniawan, «Cr (VI) removal from synthetic wastewater using coconut shell charcoal and commercial activated carbon modified with oxidizing agents and/or chitosan,» *Chemosphere*, vol. 7, n° 54, pp. 951-967, 2004.
- [4] R. I. García, «Reducción de cloruros y dureza mediante intercambio iónico, en agua de pozo,» Universidad de Sonora, Sonora, 2011.
- [5] A. V. García, «Elaboración de una bioresina intercambiadora de cationes para eliminar metales pesados en aguas a partir de cascara de plátano o guineo,» Santa Tecla, 2014.
- [6] A. León Ruiz-Roso, «Extracción de minerales de agua de mar en base a procesos de sorción.,» Barcelona, 2010.
- [7] Comercial Click E.I.R.L, «Carbón activado,» [En línea]. Available: <http://www.carbonactivado.cl/wp-content/uploads/Ficha-t%C3%A9cnica-carbon-activado-polvo-para-efecto-desodorizante-y-decolorante.pdf>. [Último acceso: 31 enero 2018].
- [8] C. A. R. Guerra, «El carbón activado para el tratamiento del agua,» 2009.
- [9] M. R. Boniolo, *Biossorcao da uranio nas cascas de banana*, Sao Paolo: Instituto de Pesquisas Energeticas e Nucleares, 2008, pp. 68-97.
- [10] D. E. G. D. Ana María Alvarado Chávez, *Estudio preliminar de la retención de plomo en agua a partir de cáscaras de musa sapientum (banano) utilizadas como filtro*, San Salvador: Universidad de El Salvador, 2013, pp. 23-58.
- [11] V. C. Alvarado, *Evaluación del uso de la cáscara del banano (Musa AAA) variedad Williams para la remoción de arsénico en el agua para consumo humano*, Guatemala: Universidad de San Carlos, 2012, pp. 5-29.
- [12] T. Anirudhan y I. Shibi, «Preparation of a cation exchanger containing carboxyl groups from banana stalk and its utilization as chelating agent,» *Infomusa*, vol. 1&2, n° 16, pp. 7-11, 2007.
- [13] C. Namasivayam y N. Kanchana, «Waste banana pith as adsorbent for color removal from wastewaters,» *Chemosphere*, vol. 25, n° 11, pp. 1691-1705, 1992.
- [14] B. Padam, H. Tin, F. Chye y M. Abdullah, «Banana by-products: an under-utilized renewable food biomass with great potential.,» *Journal of food science and technology*, vol. 12, n° 21, pp. 3527 - 3545, 2014.