

INFORME FINAL DE INVESTIGACIÓN

**TRATAMIENTO DE AGUA CONTAMINADA
CON METALES PESADOS UTILIZANDO
COMO MEDIOS FILTRANTES BIORRESINA
INTERCAMBIADORA DE CATIONES DE LA
CÁSCARA Y TALLO DE GUINEO Y CARBÓN
ACTIVADO DE ENDOCARPO DE COCO.**

DOCENTE INVESTIGADORA PRINCIPAL:
INGA. ALMA VERÓNICA GARCÍA BARRERA

ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
ITCA-FEPADE SEDE CENTRAL

ENERO 2018

INFORME FINAL DE INVESTIGACIÓN

**TRATAMIENTO DE AGUA CONTAMINADA
CON METALES PESADOS UTILIZANDO
COMO MEDIOS FILTRANTES BIORRESINA
INTERCAMBIADORA DE CATIONES DE LA
CÁSCARA Y TALLO DE GUINEO Y CARBÓN
ACTIVADO DE ENDOCARPO DE COCO.**

DOCENTE INVESTIGADORA PRINCIPAL:
INGA. ALMA VERÓNICA GARCÍA BARRERA

ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
ITCA-FEPADE SEDE CENTRAL

ENERO 2018

Rectora

Licda. Elsy Escolar SantoDomingo

Vicerrector Académico

Ing. Carlos Alberto Arriola Martínez

Vicerrectora Técnica Administrativa

Inga. Frineé Violeta Castillo

**Dirección de Investigación
y Proyección Social**

Ing. Mario Wilfredo Montes, Director

Ing. David Emmanuel Ágreda

Sra. Edith Aracely Cardoza

**Directora Escuela de
Ingeniería Química**

Licda. Cecilia Elizabeth Reyes de Cabrales

547.843 4

G216t García Barrera, Alma Verónica, 1979-

sv Tratamiento de agua contaminada con metales pesados utilizando como medios filtrantes biorresina intercambiadora de cationes de la cáscara y tallo de guineo y carbón activado de endocarpo de coco. / Alma Verónica García Barrera, -- 1ª ed. -- Santa Tecla, La Libertad, El Salv. : ITCA Editores, 2018. 58 p. : 28 cm.

ISBN 978-99961-50-71-5 (impreso)

ISBN 978-99961-50-85-2 (E-Book)

1. Resinas de intercambio iónico. 2. Descontaminación de metales pesados. 3. Purificación del agua. I. Título.

Autor

Inga. Alma Verónica García Barrera

Estudiantes participantes

Katya Castillo, Gilberto Galicia

Tiraje: 13 ejemplares

Año 2018

Este documento técnico es una publicación de la Escuela Especializada en Ingeniería ITCA-FEPADE; tiene el propósito de difundir la Ciencia, la Tecnología y la Innovación CTI, entre la comunidad académica y el sector empresarial, como un aporte al desarrollo del país. Este informe de investigación no puede ser reproducido o publicado parcial o totalmente sin previa autorización de la Escuela Especializada en Ingeniería ITCA-FEPADE. Para referirse a este documento se debe citar al autor. El contenido de este informe es responsabilidad exclusiva de los autores.

Escuela Especializada en Ingeniería ITCA-FEPADE

Km 11.5 carretera a Santa Tecla, La Libertad, El Salvador, Centro América

Sitio web: www.itca.edu.sv

Tel: (503)2132-7423

Fax: (503)2132-7599

CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN	5
2.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	6
2.1.	DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	6
2.2.	ESTADO DE LA TÉCNICA - ANTECEDENTES	6
2.3.	JUSTIFICACIÓN	8
3.	OBJETIVOS	8
3.1.	OBJETIVO GENERAL	8
3.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	8
4.	HIPÓTESIS	9
5.	MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN	9
5.1.	CONTAMINACIÓN DEL RECURSO HÍDRICO DE EL SALVADOR.....	9
5.2.	TOXICIDAD DE METALES PESADOS.	10
5.3.	TECNOLOGÍAS PARA EL TRATAMIENTO AGUAS CONTAMINADAS CON METALES PESADOS	11
5.4.	BIOSORCIÓN	11
5.5.	MORFOLOGÍA DE LA MATA DE GUINEO.....	12
5.6.	USOS DEL BANANO Y SUS SUBPRODUCTOS.....	17
5.7.	EL COCO	19
6.	METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	21
6.1.	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	21
6.2.	FASE DE LABORATORIO.....	21
6.2.1.	RECOLECCIÓN Y TRATAMIENTO DE CÁSCARAS Y PARTES DE LA MATA DE GUINEO.	23
6.2.2.	RECOLECCIÓN Y TRATAMIENTO DEL PSEUDOTALLO DE MATA DE GUINEO.....	23
6.2.3.	RECOLECCIÓN Y TRATAMIENTO DEL ENDOCARPO DE COCO.	24
6.2.4.	CARACTERIZACIÓN DE LOS MEDIOS FILTRANTES.....	25
6.2.5.	ELABORACIÓN DE MUESTRA DE AGUA.....	26
6.2.6.	PRUEBAS DE FILTRACIÓN UTILIZANDO BIORRESINA A PARTIR DE CÁSCARA DE GUINEO.....	26
6.2.7.	DETERMINACIÓN DE COLOR APARENTE POR EL MÉTODO DE PLATINO COBALTO.....	27
6.2.8.	DETERMINACIÓN DE CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS EN LOS FILTRADOS POR MEDIO DE ESPECTROFOTOMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA.....	29
6.2.9.	DETERMINACIÓN DE CONCENTRACIÓN DE HIERRO, NÍQUEL Y CROMO EN LOS FILTRADOS POR ESPECTROFOTOMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA.....	30
6.2.10.	PRUEBAS DE FILTRACIÓN UTILIZANDO PARTES DE LA MATA DE GUINEO.	31
6.2.11.	DETERMINACIÓN DE COLOR APARENTE POR EL MÉTODO DE PLATINO COBALTO.....	32
6.2.12.	DETERMINACIÓN DE CONCENTRACIÓN DE HIERRO, NÍQUEL Y CROMO EN LOS FILTRADOS POR ESPECTROFOTOMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA.....	32

6.2.13.	PRUEBAS DE FILTRACIÓN UTILIZANDO CARBÓN ACTIVADO DE COCO.	32
6.2.14.	DETERMINACIÓN DE COLOR APARENTE POR EL MÉTODO DE PLATINO COBALTO.	33
6.2.15.	ENSAYOS DE FILTRACIÓN INDEPENDIENTES. BIORRESINA DE CÁSCARA DE GUINEO Y PSEUDOTALLO DE MATA DE GUINEO.....	33
7.	RESULTADOS	34
8.	CONCLUSIONES.....	47
9.	RECOMENDACIONES.....	47
10.	GLOSARIO.....	48
11.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	49
12.	ANEXOS	51
12.1.	ANEXO A: PARTE EXPERIMENTAL.	51
12.2.	ANEXO B - CÁLCULOS.....	52
12.2.1.	ANEXO B1. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD EN LOS MEDIOS FILTRANTES.....	52
12.2.2.	ANEXO B2. ANÁLISIS DE TAMAÑO DE PARTÍCULA DE LOS MEDIOS FILTRANTES.	53
12.2.3.	ANEXO B3. SOLUCIONES ESTÁNDARES DE NÍQUEL, CROMO Y HIERRO.	54
12.2.4.	ANEXO B4. MUESTRA DE AGUA A UTILIZAR EN LAS PRUEBAS DE FILTRACIÓN.....	55
12.2.5.	ANEXO B5. COLOR APARENTE EN LA MUESTRA DE AGUA.	55
12.2.6.	ANEXO B6. CÁLCULO DE PORCENTAJES DE REMOCIÓN.....	56

1. INTRODUCCIÓN

En El Salvador la calidad del agua todavía es un problema socio- ambiental, y 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 2015, la investigación: “Elaboración de una biorresina 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. Es por esto, que ahora se presenta el proyecto de investigación: “Tratamiento de agua contaminada con metales pesados utilizando como medios filtrantes biorresina intercambiadora de cationes de la cáscara y tallo de guineo y carbón activado de endocarpo de coco”, cuyo objetivo primordial es 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 ese sentido se describe como se procesaron las biomásas de estudio, las cuales consistían en cáscaras de guineo y coco y partes de la mata de guineo para obtener medios filtrantes. Dichos medios se les caracterizo con pruebas físicas: densidad y tamaño de partícula para detectar si estas propiedades tienen alguna relación con su capacidad adsorbente. De la misma forma se elaboraron filtros con estas biomásas. 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 biorresina de cáscara de guineo y el pseudo tallo, 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 biorresina obtenida de cáscara de guineo, a la cual se le disminuyo su tamaño de partícula promedio, sigue siendo efectiva para disminuir, pero no eliminar 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 biorresina 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, dejando claro, que los materiales lignocelulósicos tienen magníficas propiedades como adsorbente, por lo cual son ideales para ser utilizados en tratamiento de aguas residuales.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

De acuerdo con el Diagnóstico Nacional de la Calidad de Aguas Superficiales en El Salvador, realizada en 2007, bajo el auspicio del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN) y el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) se determinó que el 55% de las muestras de agua recolectadas en 62 sitios de muestreo presentaban contenido de Arsénico; también se encontraron altos porcentajes por contaminación de otros metales pesados (83.2% para el cromo y 28.3% para el plomo). Además, en el mismo documento se expone el hecho que prácticamente ninguno de los sitios de muestreo, tiene agua de buena calidad. Tomando en cuenta, que los metales pesados son bioacumulables, que son la causa de muchas enfermedades crónicas, que comprometen la herencia genética y pueden causar hasta la muerte; es evidente que urgen iniciativas que sirvan para prevenir y remediar la contaminación del recurso hídrico en nuestro país.

2.2. ESTADO DE LA TÉCNICA - ANTECEDENTES

T.S. Anirudhan y I.G. Shibi. (2007) "Preparación de un intercambiador de cationes que contiene grupos carboxilo a partir del tallo de banano y su utilización como agente quelante". Revista Info Musa - Vol. 16. El estudio demostró que el tallo de banano utilizado como precursor en el desarrollo de un adsorbente para la eliminación de los metales pesados [Pb(II), Co(II), Hg(II) y Cd(II)] de soluciones acuosas, fue eficaz a un pH de 5.5 – 8.0. Los grupos carboxilos fueron los principales sitios de reacción responsables por la unión de los metales con el PGBS-COOH. Los iones de los metales adsorbidos fueron desorbidos cuantitativamente por HCl 0.2 M y el adsorbente puede ser reutilizado con éxito después de la regeneración.

Vilma Caballero (2012) "Evaluación del uso de la cáscara del banano (musa AAA) variedad Williams para la remoción de arsénico en el agua para consumo humano. Se elaboraron filtros con arena, grava y biorresina de cáscara de banano, resultando remociones de arsénico de aproximadamente 80% en los filtros que tenían 15 cms de estrato de biorresina.

Alvarado, A.M y Gómez, D. E. (2013). "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. Trabajo de graduación que consistió en elaborar un filtro a partir de polvo de cáscaras de Musa sapientum (Banano) para tratar aguas contaminadas con plomo, los filtrados fueron analizados por espectrofotometría de absorción atómica, llegándose a concluir que el mayor porcentaje de retención de dicho metal fue de 98.92%, correspondiente al filtro que contenía 10 gramos de biorresina.

La tesis de grado "Propuesta de elaboración de un filtro para el tratamiento de boro en aguas residuales provenientes de La Geo. Ahuachapán", elaborada por Carlos Roberto Valle y Omar Stanley Reyes (2012). En esta investigación se declara que se trataron, con un filtro de carbón activado, muestras de agua residual del sitio de descarga de una industria geotérmica. Se cuantificó el contenido de boro por fotometría visible, resultando una reducción de dicho elemento en 65.1%, no se logró su eliminación total del efluente.

La tesis de grado “Elaboración de un filtro a base de carbón activado obtenido del endocarpo de coco con el propósito de reducir la dureza en el agua potable.” Realizada por Verena Carrillo y Nancy Sánchez (2013) En la cual se reporta que la retención de dureza total fue de 85% a 89% para los tres filtros elaborados y de cloro residual total se obtuvieron porcentajes de retención del 54% al 100%; se demostró que el filtro que se elaboró con carbón activado resulto útil en la retención de dureza total y cloro residual en agua potable, y que este puede ser utilizado para la eliminación de algunos compuestos causantes de problemas domésticos e industriales.

El trabajo de investigación realizado por Alma Verónica García. “Elaboración de una biorresina intercambiadora de cationes para eliminar metales pesados en aguas a partir de cáscara de plátano o guineo.” (2014). Se elaboró una resina intercambiadora de cationes utilizando cáscaras de guineo y plátano. A ésta biorresina, se le realizaron pruebas fisicoquímicas: densidad seca aparente, pH y solubilidad en agua y solventes orgánicos. Se evaluó su efectividad, filtrando agua contaminada con metales pesados (Fe^{3+} , Cr^{6+} y Ni^{2+}) variando las condiciones de: tiempo de contacto, temperatura y tipo de cáscara. La cuantificación de la concentración de los metales en el agua filtrada se llevó a cabo por espectrofotometría visible. Se llegó a la conclusión que: la biorresina obtenida, es efectiva para disminuir la concentración de metales pesados en agua, teniendo especial afinidad química por el cromo hexavalente; especie que logro remover arriba del 90%. Y que sus condiciones óptimas de operación son: a 30°C y 90 minutos de tiempo de contacto con la muestra. Además, las pruebas fisicoquímicas, permitieron tipificarla preliminarmente como una **resina de intercambio catiónico débil con un grado de entrecruzamiento bajo**.

En cuanto a patentes se encontró lo siguiente:

WO 2013155641 A1 Medio sorbente para la remoción selectiva de contaminantes del agua. El medio sorbente consiste en un material de soporte de acrílico residual recubierto con óxidos de hierro de características ferromagnéticas, Los óxidos metálicos son generados a través de un tratamiento térmico de oxidación. También describe el proceso de preparación del producto sorbente que comprende la mezcla de óxidos metálicos y material de residuo en presencia de un solvente orgánico. El producto de la mezcla genera una pasta espesa, la cual se deja secar, para después triturar y tamizar la fracción útil que comprende un tamaño de partícula entre 0,425 y 1,0 mm. Luego, se lava con agua desionizada para sacar el exceso de sales de hierro.

ES2411134T3. Inventor Erik Kerkhofs . Dispositivo para la purificación de aguas residuales contaminadas orgánicamente, que comprende por lo menos un biofiltro para la purificación de aguas residuales, dicho biofiltro comprende un lecho bioactivo con una primera capa de pedazos de mesocarpio de coco, el dispositivo comprende además un suministro de agua para suministrar aguas residuales que van a ser purificadas a una parte superior del biofiltro en una posición por encima de la primera capa, y un colector de agua para recoger agua purificada desde una parte inferior del biofiltro en una posición por debajo de la primera capa, caracterizado porque los pedazos de mesocarpio de la primera capa tienen un tamaño medio de partícula de por lo menos 1 cm, porque la primera capa es compactada para tener una densidad de entre 75 y 275 kg/m³.

ES2285173T3 Inventores: Yves Arcand, Ginette Belanger, Jean-Pierre Dautais, Roger Lacasse, Denis Pettigrew, Pierre Talbot. Uso de un material biofiltrante basado en mesocarpio de coco en un sistema de tratamiento de aguas residuales.

2.3. JUSTIFICACIÓN

De acuerdo al Informe de la Calidad del agua de los ríos. El Salvador / 2012 – 2013, de los 122 sitios evaluados, la mayoría presenta agua de calidad “Regular” y ninguno es de calidad “Excelente” (Mena, 2013) . Al mismo tiempo, la actividad agro industrial deja desechos que muchas veces son descargados sin tratar, lo que conlleva a que exista contaminación por la presencia de metales pesados en aguas superficiales (Esquivel, 2007). Particularmente el níquel, hierro y cromo se encuentran en aguas provenientes de la industria textil, curtiembre o de acabado de metales. Con esta investigación se pretende encontrar una solución viable para tratar el agua contaminada con metales pesados; utilizando medios filtrantes obtenidos del seudotallo de la mata del guineo, cáscaras de guineo y cáscaras de coco, las cuales son consideradas un desecho, pero que se les puede dar un re uso, agregándole valor a algo que se considera basura en nuestro medio. Para que de esta forma, se pueda contribuir oportunamente al cuidado del medio ambiente y la salud humana; además, de la posibilidad de brindar aportes para desarrollar procesos que remuevan metales pesados en ciertos sectores industriales.

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL

Obtener medios filtrantes a partir de la cáscara de guineo, del seudo tallo de la mata guineo y del endocarpo de coco con el fin de tratar agua contaminada con metales pesados.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Obtener medios filtrantes de metales pesados a partir de cáscara de guineo, seudo tallo de mata de guineo y de endocarpo de coco.
2. Realizar pruebas de filtración a escala de laboratorio con cada medio filtrante, modificando la cantidad del mismo dispuesto en el filtro para evaluar la efectividad de los medios filtrantes mediante la cuantificación del contenido de cromo, hierro y níquel en la muestra de agua después de cada proceso de filtración, por medio de espectroscopia de absorción atómica.
3. Valorar la efectividad del carbón obtenido de la cáscara de coco para retener color, por el método de platino – cobalto.

4. HIPÓTESIS

Los medios filtrantes obtenidos a partir del endocarpo de coco, del seudo tallo de la mata de guineo y de la cáscara de guineo, son efectivos para eliminar contaminación causada por metales pesados en una muestra de agua contaminada.

5. MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN

5.1. CONTAMINACIÓN DEL RECURSO HÍDRICO DE EL SALVADOR.

De acuerdo al Informe de la Calidad del agua de los ríos. El Salvador / 2012 – 2013, de los 122 sitios evaluados, la mayoría presenta agua de calidad “Regular” y ninguno es de calidad “Excelente”. Tal y como puede observarse a continuación:

Tabla 1. Calidad de agua de sitios evaluados en El Salvador

Calidad de agua	PORCENTAJE DE SITIOS					
	2006	2007	2009	2010	2011	2013
Excelente	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Buena	17%	3%	0%	2%	12%	5%
Regular	50%	45%	60%	65%	50%	73%
Mala	20%	46%	31%	27%	31%	17%
Pésima	13%	6%	9%	6%	7%	5%

Fuente: Mena, Z (2013) Informe de la Calidad del agua de los ríos. El Salvador / 2012 – 2013. Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Dirección General del Observatorio Ambiental.

Según Mena (2013) se identificó que las zonas donde la calidad del agua es baja, están principalmente aguas abajo de los centros poblacionales, zonas de actividad industrial y/o comercial, como consecuencia de las descargas de aguas residuales sin tratamiento y desechos sólidos que reciben en el trayecto, además de las zonas donde las condiciones de saneamiento básico son pobres.

Además, de acuerdo al Diagnóstico Nacional de la Calidad de Aguas Superficiales en El Salvador¹, realizado en 2007, bajo el auspicio del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN) y el Banco

¹ Disponible en <http://portafolio.snet.gob.sv/digitalizacion/pdf/spa/doc00246/doc00246-contenido.pdf>

Interamericano de Desarrollo (BID) se determinó que el 55% de las muestras de agua recolectadas en 62 sitios de muestreo presentaban contenido de Arsénico; también se encontraron altos porcentajes por contaminación de otros metales pesados (83.2% para el cromo y 28.3% para el plomo). Y también, en el mismo documento se expone el hecho de que prácticamente ninguno de los sitios de muestreo, tiene agua de buena calidad.

Todo esto nos deja ver; que si bien es cierto hay una relativa abundancia de agua en nuestro país, esta se ve limitada en su uso como agua potable, agua de riego o incluso para propósitos recreativos, debido a su contaminación por diversos factores naturales y antropogénicos. Es por eso, que en el siguiente apartado se hablará con más detalle de la contaminación del agua por metales pesados y sus efectos en el medioambiente y en la salud humana.

5.2. TOXICIDAD DE METALES PESADOS.

Se define a los metales pesados como un grupo de alrededor 40 elementos de la tabla periódica, que tienen una densidad mayor o igual a 5 g/cm^3 . Aunque algunos de ellos son esenciales para el crecimiento como el sodio (Na), potasio (K), magnesio (Mg) y calcio (Ca), se ha reportado también, que a determinadas concentraciones tienen efectos tóxicos sobre las células, principalmente como resultado de su capacidad para alterar o desnaturalizar las proteínas, por lo cual, ocasionan enfermedades crónicas y comprometen la herencia genética. (Cañas, Abud, & Trujillo, 2013).

Como ya se dijo anteriormente, la calidad de las aguas puede ser alterada como consecuencia de las actividades de los seres humanos o naturales. Lo peligroso de la contaminación provocada por las altas concentraciones de algunos metales es su persistencia (no se eliminan de los ecosistemas acuáticos porque no son biodegradables), el fenómeno de biomagnificación y que se acumulan en el medio ambiente, principalmente en los sedimentos de ríos, lagos y mares (Cañas, Abud, & Trujillo, 2013)

Los metales se incorporan a los sistemas acuáticos de forma natural, cuando son el resultado de la lixiviación de suelos y rocas, y erupciones volcánicas. Y pueden provenir de actividades agrícolas, domésticas, industriales y mineras. La actividad minera-metalúrgica a través del procesamiento de minerales y fundición (Cañas, Abud, & Trujillo, 2013).

La toxicidad de un metal pesado depende de factores como: naturaleza del mismo y su disponibilidad en el medio ambiente (Yépez Guerrero, 2011), la clasificación que se muestra a continuación puede ayudar a comprender lo anterior:

No críticos: Fe, Mn y Al.

Tóxicos pero muy insolubles: Ti, Nb, Ta, Re, Ga, Os, Rh, Ir, Ru y Ba.

Muy tóxicos y relativamente disponibles: Be, Co, Ni, Zn, Sn, Cr, As, Se, Te, Pd, Ag, Cd, Pt, Au, Hg, Tl, Pb, Sb y Bi.

Es importante mencionar que también influyen la toxicidad del elemento, el estado molecular que presenta el metal, el tiempo de residencia en el sistema, el pH, el potencial redox del ambiente, los iones inorgánicos presentes en las aguas, la temperatura y diversos factores biológicos.

5.3. TECNOLOGÍAS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS CONTAMINADAS CON METALES PESADOS

Como ya se vio, independientemente del origen de la contaminación hídrica por metales pesados, sus efectos tóxicos minan la salud y el medio ambiente; por lo cual, es imperativo encontrar formas de removerlos o eliminarlos del agua. Según (Platt Sanchez, 2001) entre los procesos convencionales para el tratamiento de aguas residuales con metales se incluyen: precipitación, oxidación, reducción, intercambio iónico, filtración, tratamiento electroquímico, tecnologías de membrana y recuperación por evaporación que tienen como desventaja su costo e ineficiencia, sobre todo cuando la concentración de los metales es muy baja. Sin embargo, últimamente se ha observado que para estos casos, el uso de sistemas biológicos para la eliminación de metales pesados es muy efectivo. De los procesos químicos se puede decir, que resultan costosos porque el agente activo no puede ser recuperado de los lodos para su posterior reutilización. El mismo autor proporciona una breve descripción de los procesos de remoción que se mencionaron anteriormente:

Osmosis inversa: los metales se separan por medio de una membrana semi-permeable a una presión mayor que la presión osmótica causada por los sólidos disueltos en las aguas residuales. Este método es caro.

Electrodialisis: los iones metálicos se separan mediante el uso de membranas semipermeables de iones selectivas. Al aplicar potencial eléctrico entre los dos electrodos se produce una migración de cationes y aniones hacia los electrodos respectivos. La desventaja es la formación de hidróxidos de metal que obstruyen la membrana.

Ultrafiltración: la fuerza impulsora es la presión y las membranas son porosas para la eliminación de metales pesados. La principal desventaja de este proceso es la generación de lodos.

Intercambio iónico: los iones metálicos de soluciones diluidas se intercambian con los iones en poder de las fuerzas electrostáticas de la resina de intercambio. Desventajas: alto costo y la eliminación parcial de ciertos iones.

Precipitación química: los metales se pueden precipitar al adicionar agentes coagulantes como alumbre, sales de calcio, hierro y otros polímeros orgánicos. Desventaja: alta generación de lodos.

Fitorremediación: es el uso de ciertas plantas para limpiar suelos, sedimentos y aguas contaminadas con metales. Desventajas: se necesita mucho tiempo para la eliminación de los metales.

Sin embargo, en un afán de encontrar tecnologías que eliminen metales tóxicos de aguas residuales de forma segura, se ha optado por profundizar en fenómenos como la biosorción, la cual está basada en la capacidad de unión de metales de diversos materiales biológicos.

5.4. BIOSORCIÓN

De acuerdo a Platt (2001) la biosorción es la capacidad de materiales biológicos de acumular metales pesados de aguas residuales a través de vías fisicoquímicas o metabólicas, propiedad que han exhibido algunas algas, bacterias, hongos y levaduras. Entre sus ventajas están: bajo costo, alto rendimiento, reducción de productos químicos y lodos biológicos, no se requiere nutrientes adicionales, regeneración de biosorbente, y la posibilidad de recuperación de metales.

El proceso requiere de una fase sólida, que viene siendo el material biológico (biosorbente) y una fase

líquida, generalmente agua; que contiene una especie para ser absorbido (el sorbato, los iones de metal). El grado de afinidad entre el sorbente y el sorbato es el que define la distribución en entre las fases sólida y líquida.

Rodríguez, González, & Juárez (2012) reseñan que la biosorción puede aplicarse de las siguientes maneras:

- **Biosorción de metales pesados por biomásas muertas:** Se refiere a la utilización de biomásas fúngicas para remover metales pesados, por ejemplo: *Saccharomyces cerevisiae* para remover Cu (II) y Ni (II), *Trichoderma harzianum* para reducir Cu (II), Pb (II) y Zn (II); *Aspergillus fumigatus* en el caso de Cr (VI), por citar algunos. Entre sus ventajas están: la biomasa es de fácil obtención (puede obtenerse incluso como subproducto de procesos industriales), bajo costo, se puede regenerar, ser reutilizada por varios ciclos y los metales adsorbidos pueden ser recuperados.
- **Biosorción de metales pesados por biomásas vivas:** Cuando los iones se capturan por la acción de microorganismos vivos. Ejemplo de ello son las células vivas de hongos del género *Penicillium spinulosum* que remueve cobre, oro, zinc, cadmio y manganeso, y algunas otras especies de *Penicillium* que remueven plomo y uranio.
- **Biosorción de metales pesados por biomásas naturales:** Se busca la adsorción y absorción de metales pesados utilizando biomásas provenientes de residuos industriales o agrícolas como cáscaras de banano para reducir Cr (VI) y Ni (II) (García, 2014), cáscaras de limón, naranja, mandarina, melón, litchi, tamarindo y mamey, también para reducir Cr (VI) del agua. (Rodríguez, González, & Juárez, 2012)

Es respecto a esta última aplicación que se hablará a continuación, particularmente de las experiencias con biorresinas intercambiadoras de cationes obtenidas de cáscaras, y partes de la mata de guineo.

5.5. MORFOLOGÍA DE LA MATA DE GUINEO.

De acuerdo a la página web de Promusa la planta de banano es una hierba perenne de gran tamaño. El término utilizado para designar a la planta madre, sus hijos y el rizoma subterráneo es **mata**. A continuación se hace una breve revisión de las partes de la mata (por lo menos, las de mayor interés para este estudio), para tener una mejor comprensión de aquellas que son más susceptibles para usarse como materia prima para elaborar superficies adsorbentes.

(Vézina & Baena, 2006) Distinguen las siguientes partes de la mata:

Sistema radicular

Presenta un sistema radicular primario y uno adventicio. Las raíces primarias se originan en la superficie del cilindro central del **rizoma**, y las secundarias y terciarias, en las raíces primarias.

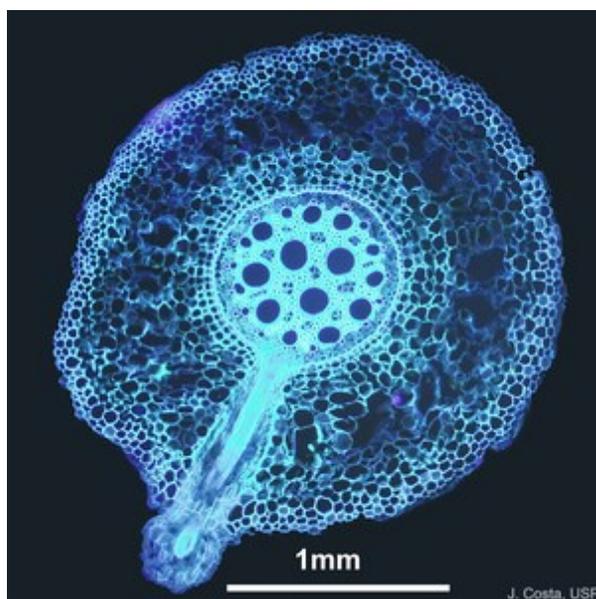


Figura 1. Sección transversal de una raíz de mata de guineo.

Fuente: Página web de ProMusa.

Rizoma

Es el tallo verdadero del banano y se encuentra bajo tierra. El punto de crecimiento del rizoma, el meristemo apical, es una cúpula aplanada desde la cual se forman las hojas y, eventualmente, la inflorescencia.

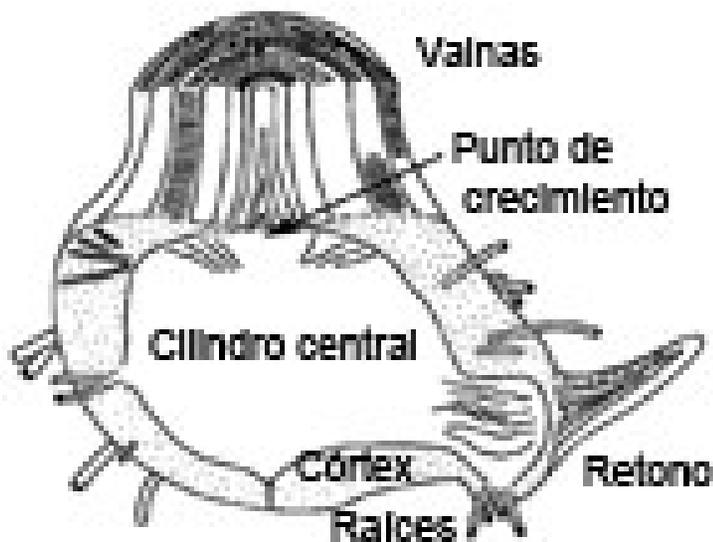


Figura 2. Esquema del rizoma de la mata de guineo.

Fuente: Página web de ProMusa

Seudotallo

La parte de la planta que parece el tronco es un falso tallo denominado **seudotallo**, y está formado por un conjunto apretado de vainas foliares superpuestas. Está compuesto principalmente por agua. A medida que las hojas emergen, el seudotallo continúa creciendo hacia arriba y alcanza su máxima altura cuando el tallo verdadero, surge en la parte superior de la planta.



Figura 3. Sección transversal del seudotallo.

Fuente: Página web de ProMusa

Hoja

Es el principal órgano fotosintético de la planta. Cada hoja emerge desde el centro del pseudotallo como un cilindro enrollado. La parte superior de la hoja (haz) recibe el nombre de superficie adaxial (envés) mientras que la inferior recibe el nombre de superficie abaxial. Las primeras hojas producidas por un hijo en crecimiento se llaman hojuelas. Las hojas en estado maduro, se denominan hojas verdaderas y constan de vaina, pecíolo, nervadura central y limbo.



Figura 4. Vista inferior de hojas de una mata de guineo.

Fuente: Página web de ProMusa

Hoja cigarro

Es una hoja enrollada como un cilindro que acaba de brotar. Es blanquecina, frágil y modifica su color hacia el color verde normal y disminuyendo su fragilidad a medida que se produce su apertura.



Figura 5. Hoja cigarro.

Fuente: Página web de ProMusa

Hijo

Es un brote lateral que se desarrolla desde el rizoma, y surge muy cerca de la planta madre. También se le conoce como retoño, vástago, brote o colino.

El número de hijos producidos varía según el tipo de cultivar. El hijo seleccionado para reemplazar a la planta madre después de la fructificación se llama sucesor.



Figura 6. Hijo de mata de guineo. Fuente: Página web de ProMusa

Inflorescencia

Es una estructura compleja que contiene las flores que se desarrollarán en frutos. Se apoya en el tallo verdadero de la planta.

Las flores femeninas (pistiladas) aparecen primero. A medida que las flores femeninas se desarrollan en frutos, la porción distal de la inflorescencia se alarga y produce grupos de flores masculinas (estaminadas), cada uno bajo una bráctea. Las flores masculinas en la yema masculina producen polen, que puede ser, o no ser, estéril. Un tercer tipo de flores llamado hermafrodita o neutro puede presentarse en el raquis, el pedúnculo entre las flores femeninas y la yema masculina. Estas flores por lo general no se desarrollan como frutos y sus estambres no producen polen.



Figura 7. Flores femeninas de mata de guineo.

Fuente: Página web de ProMusa

Pedúnculo

El pedúnculo es el tallo que soporta la inflorescencia y la fija al rizoma.



Figura 8. Ubicación del pedúnculo en la mata de guineo.

Fuente: Página web de ProMusa

Racimo

Es el conjunto de frutos que aparecen a lo largo del raquis. Los frutos individuales (también llamados dedos) se agrupan en manos.

Raquis

Es el tallo de la inflorescencia. Puede estar desnudo o cubierto con brácteas persistentes. Las cicatrices en el raquis, que indican el lugar donde estaban unidas las brácteas, también se conocen como nódulos.

Fruto

Baya oblonga. Los plátanos son polimórficos, pudiendo contener de 5-20 manos, cada una con 2-20 frutos, de color amarillo verdoso, amarillo, amarillo-rojizo o rojo. Los plátanos comestibles desarrollan una masa de pulpa comestible sin ser necesaria la polinización. Los óvulos se atrofian pronto, pero pueden reconocerse en la pulpa comestible. La mayoría de los frutos de la familia de las *Musáceas* comestibles son estériles, debido a un complejo de causas, entre otras, a genes específicos de esterilidad femenina, triploidía y cambios estructurales cromosómicos, en distintos grados. (Infoagro.com, Sin año)

De la cáscara de banano, es importante destacar que en su estado maduro contiene aproximadamente 2,7% de fructosa, 3,2% de glucosa y 7,8% de sacarosa en base seca. La fibra cruda en la cáscara de banano maduro contiene 60% de lignina, 25% de celulosa y 15% de hemicelulosa. (Moreira Carrión, K. 2013).

Habiendo presentado esta información, pasaremos ahora, a analizar las aplicaciones de las diferentes partes de la mata del guineo y su fruto.

5.6. USOS DEL BANANO Y SUS SUBPRODUCTOS.

El banano (o guineo como se le conoce en nuestro país) es uno de los cultivos más importantes de los países tropicales; no solo el fruto es apreciado, también los residuos agrícolas que resultan de su cosecha tienen utilidad. Según Padam, Tin, Chye, & Abdullah (2014) entre sus usos se pueden mencionar: como agente espesante, colorante y saborizante, para envolver alimentos, fuente de micro y macronutrientes, por lo cual se utiliza en formulaciones para nutracéuticos, alimento para ganado; además de ser fuente de fibras naturales (fabricación de telas), de compuestos bioactivos y biofertilizantes. También, en las últimas décadas, se ha descubierto que las cáscaras y la mata de guineo (hojas, tallo, pseudotallo e inflorescencia) pueden ser utilizadas como biomasa que puede adsorber colorantes y metales pesados; cobrando gran importancia como fuente alternativa de energías renovables y un recurso para fomentar el desarrollo sostenible en varios rubros de la industria.

5.6.1. Efecto de la cáscara de banano como adsorbente de metales pesados

Como ya se explicó anteriormente, los sub productos del banano tienen propiedades adsorbentes. De hecho, según estudios realizados por la doctora en Ciencias Químicas, Milena Boniolo, en la Universidad Federal de Sao Carlos, Brasil (2011); las cáscaras de banano, secadas y pulverizadas, tienen la capacidad

de reducir metales pesados en agua contaminada. Esto es, porque en la cáscara de plátano existen un gran número de moléculas con carga negativa (como el hidroxilo y el carboxilo de pectina), las cuales atraen la carga positiva de los metales pesados. El mecanismo por medio del cual la cáscara adsorbe los metales es la fisisorción, ya que la especie adsorbida (fisisorbida) conserva su naturaleza química.

Se ha demostrado que la cáscara de banano es capaz de adsorber los contaminantes generados por los fertilizantes agrícolas, que tienen uranio y otros metales radio tóxicos y se filtran a los ríos, puesto que captura el 65% de dichos metales (Boniolo, 2008), también, que puede remover arsénico (Caballero, 2012), plomo (Alvarado & Gómez, 2013) níquel y cromo (VI) (García, 2014) presentes en aguas contaminadas.

Sin embargo, una desventaja de utilizar la cáscara de banano como medio para tratar aguas contaminadas, que el agua adquiere olor, color y sabor característicos del fruto; debido a la presencia de pigmentos naturales como los carotenos y xantofilas presentes en las cáscaras. (García, 2014)

5.6.2. Seudotallo de la mata de guineo como adsorbente.

Se han realizado múltiples esfuerzos por descontaminar el agua con métodos más baratos que los tradicionales. Desde hace décadas, se ha colocado el foco de atención en los desechos que provienen de las actividades agrícolas, tal y como lo refleja Kumar (2006) en su investigación, en la cual hace una revisión de diferentes biomásas que tienen propiedades adsorbentes y que, pueden servir para eliminar metales pesados, colorantes y otros contaminantes del agua. En la misma publicación cita a (Noeline, Manohar, & Anirudhan, 2005) cuyo trabajo arrojó como resultado que el seudo tallo de la mata de guineo polimerizado con formaldehido es capaz de absorber el 99.0% de plomo (II) en un reactor batch.

En esa misma línea de investigación, que la misma parte de la planta es utilizada como precursora en el desarrollo de un adsorbente, y que es eficaz para la eliminación de los metales pesados: Pb(II), Co(II), Hg(II) y Cd(II) de soluciones acuosas, a un pH de 5.5 – 8.0. Se determinó que los grupos carboxilos fueron los principales sitios de reacción responsables por la unión de los metales (Anirudhan & Shibi, 2007). Los resultados de los porcentajes de adsorción y de desorción se muestran en la tabla de abajo:

Tabla 2. Porcentajes de adsorción y desorción de metales pesados utilizando el seudo tallo de la mata de guineo como adsorbente.

No de ciclos	Adsorción (%)				Desorción (%)			
	Pb (II)	Co (II)	Hg (II)	Cd (II)	Pb (II)	Co (II)	Hg (II)	Cd (II)
1	99.7	99.3	98.6	87.5	97.8	96.3	94.8	84.3
2	97.2	97.1	96.3	85.1	95.0	93.2	93.2	80.2
3	95.2	93.1	93.1	82.8	93.0	91.6	91.6	77.5

Fuente: (Anirudhan & Shibi, 2007) **Preparación de un intercambiador de cationes que contiene grupos carboxilo a partir del tallo de banano y su utilización como agente quelante.**

Padam, Tin, Chye, & Abdullah (2014) también reportan que el seudo tallo es útil para remover colorantes de las aguas residuales, por ejemplo: rojo y azul de metilo.

Las propiedades adsorbentes que exhiben algunas de las partes de la mata de guineo se deben en gran medida a que están compuestas por celulosa, hemicelulosa, lignina, taninos y pectina, todos polímeros. Las superficies celulósicas adquieren cargas parciales negativas cuando entran en contacto con agua, estableciendo relaciones coulumbicas con los cationes (Kumar, 2006).

Como ya se dijo, hay múltiples evidencias que las cáscaras de frutos y partes de plantas, poseen propiedades que las hacen aptas para ser utilizadas en el tratamiento de aguas contaminadas. Una de esas biomásas, es el endocarpo de coco, el cual se verá con más detalle a continuación.

5.7. EL COCO

El coco es un fruto comestible, que se usa para la cosmética y en repostería, proviene de la palmera cocotero cultivada en todos los países del mundo. Exteriormente tiene una cáscara muy gruesa y fibrosa (mesocarpo), y otra interior bastante dura (endocarpo), vellosa ambas de color marrón. Al interior se halla una pulpa blanca, y en su interior se halla el agua de coco. (Carrillo & Muñoz, 2013). En la figura siguiente se puede visualizar las partes del fruto de las que se ha hablado.

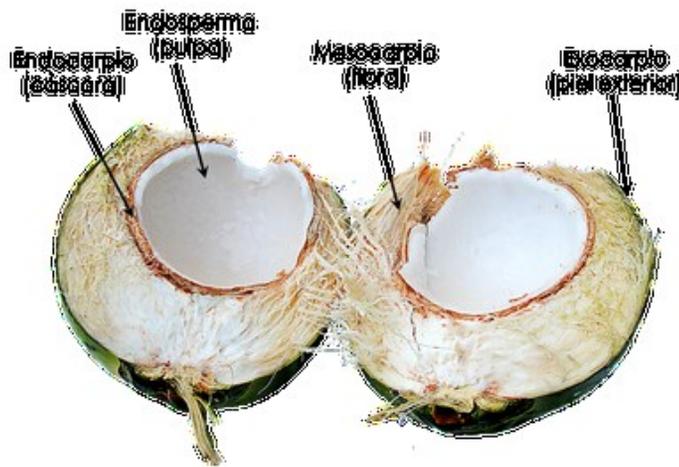


Figura 9. Partes del coco. Fuente: Blog “El gran viaje del coco”

5.7.1. Subproductos del coco y capacidad adsorbente.

Ya se ha mencionado con anterioridad, que muchas biomásas exhiben propiedades adsorbentes, las partes del fruto del coco no son la excepción; de hecho, hay evidencia que la copra es capaz de retener metales pesados como cadmio (Ho & Ofomaja, 2006), el mesocarpo modificado químicamente, puede capturar cobre (Vieira A. , y otros, 2010) y adsorber colorantes textiles (Vieira A. , y otros, 2009); de la misma forma hay muchas investigaciones que apuntan a que el carbón activado obtenido del endocarpo de coco es efectivo para reducir dureza (Carrillo & Muñoz, 2013) boro (López & Reyes, 2012) y metales pesados como se tratará a continuación.

5.7.2. Carbón activado obtenido del endocarpo de coco.

Se le llama carbón activado a una serie de carbones porosos que se obtienen de la carbonización de materiales, su característica principal es su alto grado de porosidad y superficie interna, lo que lo hace un excelente adsorbente; razón por la cual se le usa para: purificar agua, desodorizar, decolorar o ionizar, esto, le permite su aplicación en la industria minera, alimentaria, farmacéutica, cosmética, entre otras. Debido a la creciente demanda de materias primas baratas y que no comprometan al medioambiente, se han buscado precursores alternativos el carbón activado en las biomásas, siendo el endocarpo del coco una de ellas (Luna, González, Gordon, & Martín, 2007)

Se ha comprobado que el endocarpo de coco se puede utilizar para obtener carbón activado, debido a su estructura natural y su bajo contenido de cenizas (Velásquez, Mejía, Carrasquilla, López, & Garcés, 2007). Lo cual significa, que es una alternativa relativamente barata y “limpia” para obtener un producto que tiene muchísimas aplicaciones, de las cuales dos de ellas, en particular, son objetivos de esta investigación. Se está hablando de la capacidad de remover olores y sabores en el agua, y la remoción de metales pesados en la misma.

En cuanto a esa característica de retener metales pesados en el agua, según Babel & Kurniawan (2004) el carbón activado del coco fue capaz de remover Cr (VI) de aguas residuales de una industria de galvanoplastia sintética y fue comparado con carbón activado comercial. Ambas superficies adsorbentes fueron modificadas con agentes oxidantes (ácido nítrico y ácido sulfúrico) y con quitosano, obteniéndose como resultados que el carbón activado comercial captura en mayor proporción el Cr (VI); pero que en términos medio ambientales y de costos, la alternativa más viable para tratar las aguas contaminadas de este tipo de industrias era el carbón del coco.

Además, Sekar, Sakthi, & Regaraj (2004) apuntan que el carbon activado del coco removió Pb (II) en pruebas realizadas en un reactor batch, su capacidad de adsorción maxima (26.50 mg / g) fue obtenida a un pH de 4.5. También, se encontró que la desorción del metal de la superficie rondaba el 75%.

Del mismo modo, Amuda, Giwa, & Bello (2007) comprobaron que el carbón activado obtenido de la cáscara de coco tratada con quitosano y ácido fosforico, logró adsorber el Zn (II) en aguas residuales de bebidas sintéticas. Las eficiencias oscilaron desde 12% hasta 95%, dependiendo del pH de la solución, la concentración de adsorbente y los tiempos de agitación, la concentración de iones inicial y el tamaño de partícula. También, se realizaron estudios de desorción, utilizando NaOH, y se llegó a la conclusión que el metal fue recuperado de la superficie. No está demás decir, que en este mismo estudio, se destaca que el uso de residuos agrícolas (cáscara de coco) para producir carbón activado conduce potencialmente a la producción de un adsorbente altamente eficaz generado a partir de materias primas menos costosas que provienen de recursos renovables.

6. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Se considera una investigación de tipo experimental y retrospectiva por tener como objeto de estudio la manipulación de variables experimentales bajo condiciones controladas y además de poseer un carácter exploratorio pues se realiza con el propósito de obtener datos fieles y seguros para que sirvan de base en estudios futuros.

6.1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA:

Se consultaron bases de datos tales como: CBUES, Elsevier y Google Academycs, trabajos de investigación de centros de educación superior nacionales e internacionales, entre otros. Con relación a las patentes, se utilizaron Espacenet.com y Google Patentes. De la información encontrada de todas las fuentes anteriores, se puede decir que fue más útil aquella contenida en Elsevier y Espacenet.com, pues era la que estaba relacionada con el uso de biomásas (cáscaras, tallos, hojas y frutos de guineo y coco) para remover metales pesados en aguas residuales. No se encontró en la información consultada, que se aplicaran estas biomásas de forma combinada o en serie. Solo se hallaron resultados de experimentos independientes.

6.2. FASE DE LABORATORIO.

Se realizó en 3 etapas, la primera se realizara en campo y las siguientes en el Laboratorio de la Escuela de Ingeniería Química de la institución. Cabe mencionar que a lo largo de todo el desarrollo experimental se involucró a estudiantes de nuestra Escuela.

El desarrollo de las fases del proyecto se describe a continuación:

1. **Trabajo de campo:** recolección de las partes de plantas y cáscaras: provistas por la cafetería – escuela de ITCA FEPAD E y ventas aledañas a la institución.
2. **Parte experimental.** Se efectuó en el Laboratorio de la Escuela de Ingeniería Química de ITCA FEPAD E, así:
 - i. Procesamiento la cáscaras y partes de la mata de guineo, y cáscaras de coco.
 - ii. Elaboración de biorresinas y el carbón activado, a partir de las partes de plantas y cáscaras antes mencionadas.
 - iii. Elaboración de la muestra de agua patrón con iones: Fe (III), Cr (VI) y Ni (II).
 - iv. Caracterización de los medios filtrantes: densidad y tamaño de partícula.
 - v. Pruebas de filtración del agua patrón, a escala de laboratorio, modificando las siguientes variables: cantidad de medio filtrante, tiempo de contacto. Las pruebas se dividieron en dos partes: 1) Pruebas dependientes para biorresina de cáscara de guineo, biorresina de mata de guineo y el carbón activado de la cáscara de coco y 2) pruebas independientes de la biorresina de cáscara de guineo y el pseudo tallo de la mata de guineo.

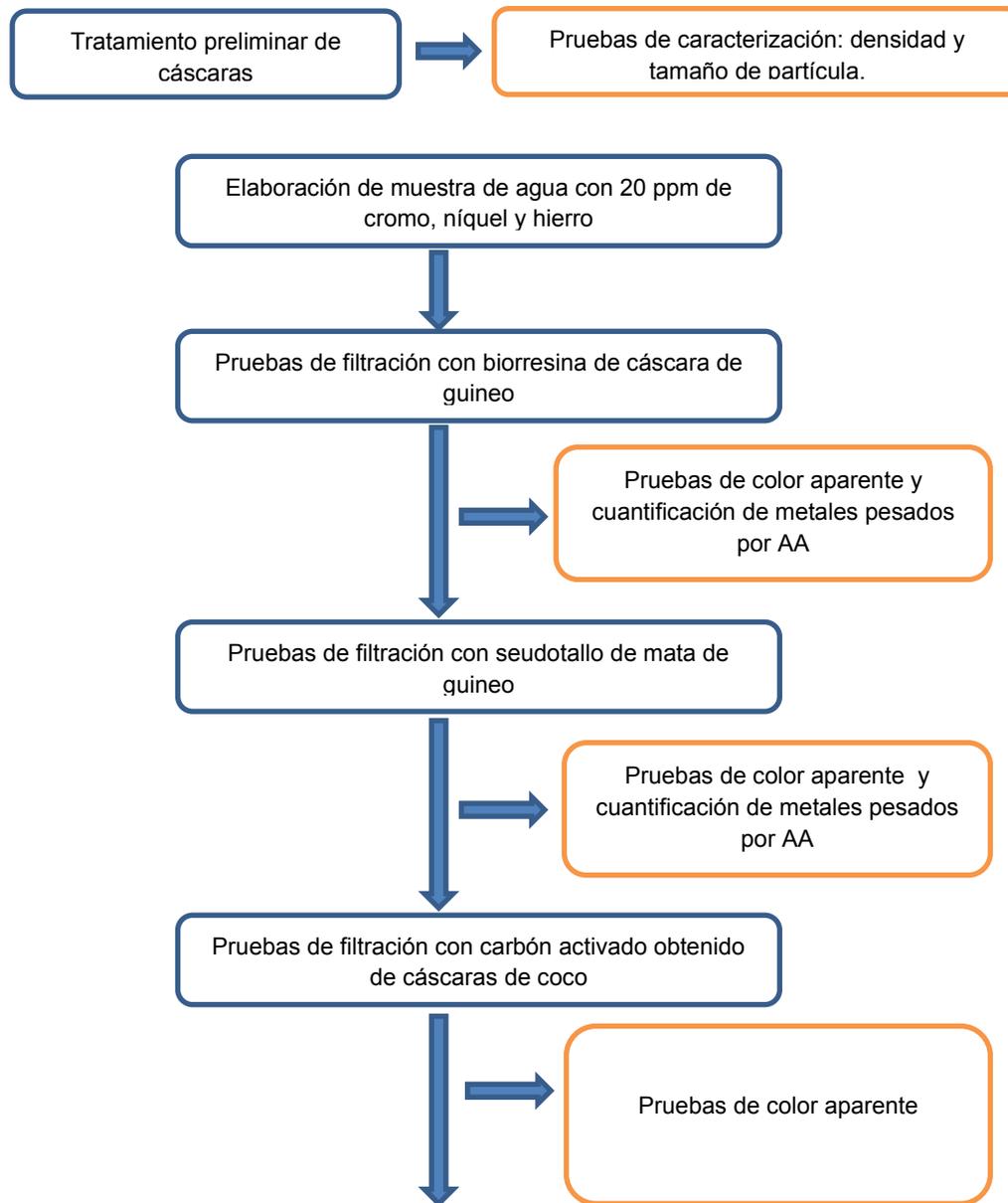
- vi. Identificación de la concentración de los metales después del proceso de filtración, mediante absorción atómica.

Todos los procedimientos, materiales, equipos y personal involucrado en cada una de estas etapas se detallarán en los siguientes apartados:

Con el objetivo de facilitar la comprensión del desarrollo de la parte experimental, se presenta el siguiente esquema:

Figura 10. Esquema de parte experimental (Primera parte). Pruebas de filtración en serie.

Fuente: Elaboración propia.



6.2.1. Recolección y tratamiento de las cáscaras y partes de la mata de guineo.

Cáscaras de guineo.

- Las cáscaras tanto de plátano (*Musa balbisiana*), como de guineo (*Musa × paradisiaca*) fueron suministradas por la Cafetería Escuela de ITCA FEPADE, pues son desechos de sus actividades diarias.
- Las cáscaras se sumergieron en una solución de hipoclorito de sodio al 2 – 5 % p/v por 5 – 10 minutos. Después de esto, se escurrían.
- Posteriormente, las cáscaras se limpiaron de partes dañadas o podridas, y se les retiró los restos del fruto.
- Luego, fueron dispuestas en bandejas de aluminio y fueron secadas en estufa, la temperatura de secado osciló entre 90 ° C a 105 ° C, el tiempo de secado varió entre: 8 a 16 horas, por lote de cáscaras. Si las cáscaras secas no se trituraban inmediatamente, estas se colocaban en desecadores.
- Para pulverizar las cáscaras se utilizó un molinillo eléctrico.

En el esquema siguiente se muestran imágenes de este procedimiento:



Figura 11. Procesamiento de biorresina de cáscara de guineo. Fuente: Elaboración propia.

6.2.2. Recolección y tratamiento del pseudotallo de mata de guineo.

- Los pseudotallos de la mata de guineo fueron recogidos de una plantación en Antigua Cuscatlán.
- Se les retiró la corteza externa y partes podridas. Se procedió a picar lo más fino posible lo que se utilizaría en el proceso de filtrado. Se utilizaron “frescos”, no se les realizó mayor tratamiento. Esto se debe a que se realizaron pruebas previas de tipo cualitativo y visual, en las cuales el pseudo tallo seco y pulverizado era considerablemente menos efectivo para reducir el color en una muestra de agua coloreada, que el pseudo tallo fresco. Razón por la cual, se eligió continuar el tratamiento de la muestra de agua con este último.



Figura 12. Limpieza, selección y picado de pseudo tallo de mata de guineo. Fuente: Elaboración propia.

6.2.3. Recolección y tratamiento del endocarpo de coco.

- Las cáscaras fueron provistas por ventas de agua de coco aledañas a ITCA FEPADE.
- Se les retiró el exocarpo y endosperma, solo se conservó el mesocarpo y endocarpo, y se trató tal y como sigue:
- Desechado en estufa, hasta peso constante, a temperatura que oscilo entre 90°C – 105°C.
- Las cáscaras secas fueron carbonizadas en una “barbacoa”, se retiraron del fuego antes de que formaran cenizas y se rociaron con agua desmineralizada contenida en una piceta, se buscó dejar el carbón en brasas.
- Se enfrió el carbón de las cáscaras de coco (30 – 40 minutos), se seleccionaron aquellos trozos que no contuvieran cenizas.
- Se activó el carbón en mufla a 800°C durante una hora.
- Se enfrió el carbón activado y se pulverizo con un molinillo eléctrico.



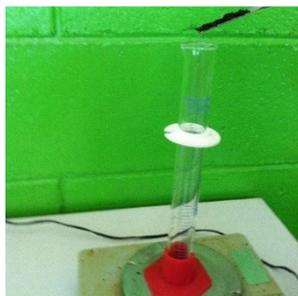
Figura 13. Proceso de elaboración de carbón activado a partir de mesocarpo y endocarpo de coco. Fuente: Elaboración propia.

6.2.4. Caracterización de los medios filtrantes.

Densidad.

- Pesar una probeta vacía.
- Llenar la probeta con el medio filtrante hasta la marca de 10 cm³
- Repetir el mismo procedimiento 3 veces.
- Calcular la densidad promedio con la siguiente formula

$$\rho = m/v$$



Pesar probeta vacía



Llenar hasta marca de 10 mL y pesar el conjunto.

Figura 14. Determinación de densidad de medios filtrantes por gravimetría. Fuente: Elaboración propia.

Tamaño de partícula.

- Pesar 50 gramos de medio filtrante.
- Disponerlos en un set de tamices previamente pesados y ordenados en orden creciente de Mesh, desde No 20 hasta No 45.
- Se colocó el conjunto de tamices, receptor y tapadera, conteniendo la muestra, en una agitadora de tamices, durante 5 minutos.
- Se retiró de la agitadora de tamices.
- Se procedió a pesar cada tamiz y el receptor con la cantidad de muestra retenida.



Figura 15. Tamizado de medios filtrantes. Fuente: Elaboración propia.

- Calcular el porcentaje de retención de cada tamiz con la formula:

$$\%Retenido\ en\ tamiz\ X = \frac{(P_1 - P_2)}{w} * 100$$

Dónde: P_1 = Peso del tamiz X con muestra después de agitar

P_2 = Peso del tamiz vacío

w = Peso de la muestra.

6.2.5. Elaboración de muestra de agua.

Se elaboraron 2 litros de muestra de agua, con concentración de 20 ppm de los siguientes metales Fe (III), Ni (II) y Cr (VI), se prepararon de la siguiente manera:

- Se utilizó como solución madre una solución stock multielementos, marca Inorganic Ventures, con contenido de 1,000 ppm de los siguientes metales: Ag, Al, B, Ba, Cr, Cu, Fe, Ni, entre otros.
- Se preparó el volumen deseado de muestra con 20 ppm de Fe (III), Ni (II) y Cr (VI) por dilución, aforando con agua destilada (Consultar cálculos en Anexo B).
- Se conservó la muestra en condiciones de refrigeración.

6.2.6. Pruebas de filtración utilizando biorresina a partir de cáscara de guineo.

Construcción del filtro.

- Se utilizaron botellas plásticas recicladas, previamente lavadas y desinfectadas como soporte para la biorresina.
- En ellas se dispuso 30 g de biorresina a utilizar. Tal y como se puede apreciar en la siguiente imagen:



Figura 16. Biorresina de cáscara de guineo en los filtros. Fuente: Elaboración propia.

- Se colocó encima de la biorresina, grava lavada con ácido clorhídrico 0.5 M, para evitar que el medio filtrante flotara.
- Se adicionaron 350 mL de muestra de agua preparada en 6.5.
- Se mantuvo en contacto el agua contaminada durante 90 minutos.
- Se procedió a drenar la muestra de agua del filtro, se recolecto en un beaker de 500 mL de vidrio. Posteriormente, se almacenó en frascos ámbar, bajo refrigeración.
- Este procedimiento se realizó por triplicado.

6.2.7. Determinación de color aparente por el método de platino cobalto.

- Se preparó la solución madre de cloroplatinato (500 unidades de color). Tal y como sigue: se pesaron aproximadamente 1,246 g de hexacloroplatinato de potasio, (equivalente a 0,500 g de platino metálico) y 1,000 g de cloruro de cobalto (equivalente a 250 mg de cobalto metálico) se disolvió en 500 mL de agua con 100 mL de ácido clorhídrico concentrado. Se aforó a 1 L con agua.
- Se prepararon disoluciones intermedias en incrementos desde 2,5 a 100 unidades, como se muestra en la tabla siguiente:

Tabla 3. Preparación de la escala de color.

mL de disolución estándar diluida a 50 mL con agua	Color en unidades Pt-Co.
0,0	0
0,25	2,5
0,5	5
1,0	10
1,5	15
2,0	20
2,5	25
3,0	30
3,5	35
4,0	40
4,5	45
5,0	50
6,0	60
7,0	70
8,0	80
9,0	90
10,0	100

Fuente: (Secretaría de Economía de los Estados Unidos Mexicanos, 2001). Norma mexicana NMX-AA-045-SCFI-2001. Análisis de agua - determinación de color platino cobalto en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - método de prueba.

- Se midió previamente el pH de la muestra usando un pH - metro debidamente calibrado.
- Se determinó el color de la muestra llenando un beaker de vidrio hasta la marca de 50 mL y se comparó con las disoluciones intermedias. Si el color excede de 70 unidades, se diluye la muestra con agua destilada en proporciones conocidas hasta que el color sea menor de 70 y mayor de 20 Unidades Pt-Co.
- Para calcular las unidades de color por medio de la siguiente ecuación:

Unidades de color Pt-Co= A x FD

En donde:

A = Color estimado de la muestra

FD = Factor de dilución de la muestra.

- Reportar los resultados como se indica (Consultar cálculos en Anexo B):

Unidades de Color Pt-Co	Redondear con una resolución de
1 - 50	1
51 - 100	5
101 - 250	10
251 - 500	20

- El valor de pH de la muestra se reporta junto con el valor del color aparente.



Figura 17. Determinación de color por el método de platino cobalto. Fuente: Elaboración propia.

6.2.8. Determinación de concentración de metales pesados en los filtrados por medio de espectrofotometría de absorción atómica.

- Una vez recolectadas las muestras de agua pasadas por el biofiltro, se filtró una porción con papel Whatman No 42, para poder ser analizados en el espectrofotómetro de absorción atómica, marca Shimadzu, modelo AA – 7000.
- Los procedimientos seguidos para la cuantificación de la reducción de la concentración de los metales pesados de estudio, se detallan a continuación:

6.2.9. Determinación de concentración de hierro, níquel y cromo en los filtrados por espectrofotometría de absorción atómica.

- Se acondiciona el espectrofotómetro de absorción atómica y se selecciona la lámpara de cátodo hueco de hierro.
- Se prepararon soluciones estándares de 2.5 ppm, 5 ppm, 10 ppm, 12.5 ppm, 15 ppm y 20 ppm, partir de la solución stock multielementos, marca Inorganic Ventures, con contenido de 1,000 ppm Fe, Ni y Cr, entre otros (Cálculos de dilución en Anexo B). Se utilizó como blanco agua destilada.
- Utilizando las soluciones estándares y el blanco preparadas en el apartado anterior, se procede a hacer la curva de calibración para hierro, a una longitud de onda de 248.3 nm.
- Se traslada el filtrado de la biorresina a un beaker de plástico.
- Se realiza la medición a una longitud de onda de 248.3 nm, se registran y se almacenan los resultados en la PC conectada al equipo.
- Para cuantificar el porcentaje de remoción del hierro en la muestra de agua tratada con la biorresina, se utilizó la siguiente formula:

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

En donde:

C_0 = Concentración en ppm inicial del metal (hierro, cromo o níquel) en la muestra de agua.

C_f * = Concentración en ppm final del metal (hierro, cromo o níquel) en la muestra de agua. (Ver anexo B7)

- Se procede de forma similar con la determinación de níquel (longitud de onda: 232.0 nm) y cromo (longitud de onda: 357.9 nm). Se elaboraron las curvas de calibración respectivas, utilizando las mismas soluciones estándares y seleccionando la lámpara de cátodo hueco correspondiente.



Figura 18. Análisis de las muestras de agua por espectrofotometría de absorción atómica. Fuente: Elaboración propia.

6.2.10. Pruebas de filtración utilizando partes de la mata de guineo.

- A los filtrados tratados con biorresina de cáscara de guineo (6.7.1), se les dispuso en beakers de vidrio de 500 mL, y se mezclaron con 150 gramos de mata de guineo picada (se buscaba cubrir todo el volumen de agua) y se dejó en reposo durante un intervalo que varió entre 14 a 20 horas (hasta observar un cambio en el color de la solución).
- Se retiran los trozos de mata de guineo de la muestra de agua y se escurren.
- Este procedimiento se realizó por triplicado.
- Se almacenan las aguas tratadas en frascos ámbar, bajo condiciones de refrigeración.



Figura 19. Tratamiento de muestras de agua con pseudo tallo de mata de guineo. Fuente: Elaboración propia.

6.2.11. Determinación de color aparente por el método de platino cobalto.

- Se determinó el color aparente en los filtrados provenientes del tratamiento con las partes de mata de guineo, descrito en el apartado anterior, siguiendo el procedimiento detallado en el numeral 6.2.7

6.2.12. Determinación de concentración de hierro, níquel y cromo en los filtrados por espectrofotometría de absorción atómica.

- Se siguió exactamente el mismo procedimiento descrito en el numeral 6.2.9

6.2.13. Pruebas de filtración utilizando carbón activado obtenido de la cáscara de coco.

- A los filtrados tratados con pseudo tallo de mata de guineo (6.2.10) y que resultaron de un volumen aproximado a 300 mL, se les dispuso en beakers de vidrio de 500 mL, y se mezclaron con 30 gramos de carbón activado obtenido de la cáscara de coco, se removía la mezcla ocasionalmente haciendo uso de un agitador de vidrio. durante un intervalo que varió entre 14 a 19 horas (hasta observar un cambio en el color aparente)
- Para separar el carbón activado de la mezcla, se filtró con arena fina.
- Al observarse todavía partículas de carbón activado en el agua tratada se realizó un segundo filtrado, esta vez, con papel filtro Whatman No 42.
- Este procedimiento se realizó por triplicado.
- Se almacenan las muestras de agua tratadas en frascos ámbar, bajo condiciones de refrigeración, para su posterior análisis.



Figura 20. Tratamiento de las muestras de agua con carbón activado de cáscara de coco. Fuente: Elaboración propia.

6.2.14. Determinación de color aparente por el método de platino cobalto.

- Se determinó el color aparente en los filtrados provenientes del tratamiento con el carbón activado, descrito en el apartado anterior, siguiendo el procedimiento detallado en el numeral 6.2.7

6.2.15. Ensayos de filtración independientes. Biorresina de cáscara de guineo y pseudotallo de mata de guineo.

- Con el fin de evaluar la capacidad intercambiadora de cationes del pseudotallo de mata de guineo, sin la influencia previa del efecto de la biorresina de cáscara de guineo. Se desarrollaron ensayos adicionales e independientes; para hacer un comparativo entre ambos medios filtrantes, y así, poder visualizar cual es mejor a la hora de remover metales pesados del agua. El esquema experimental realizado se puede visualizar en la siguiente imagen:

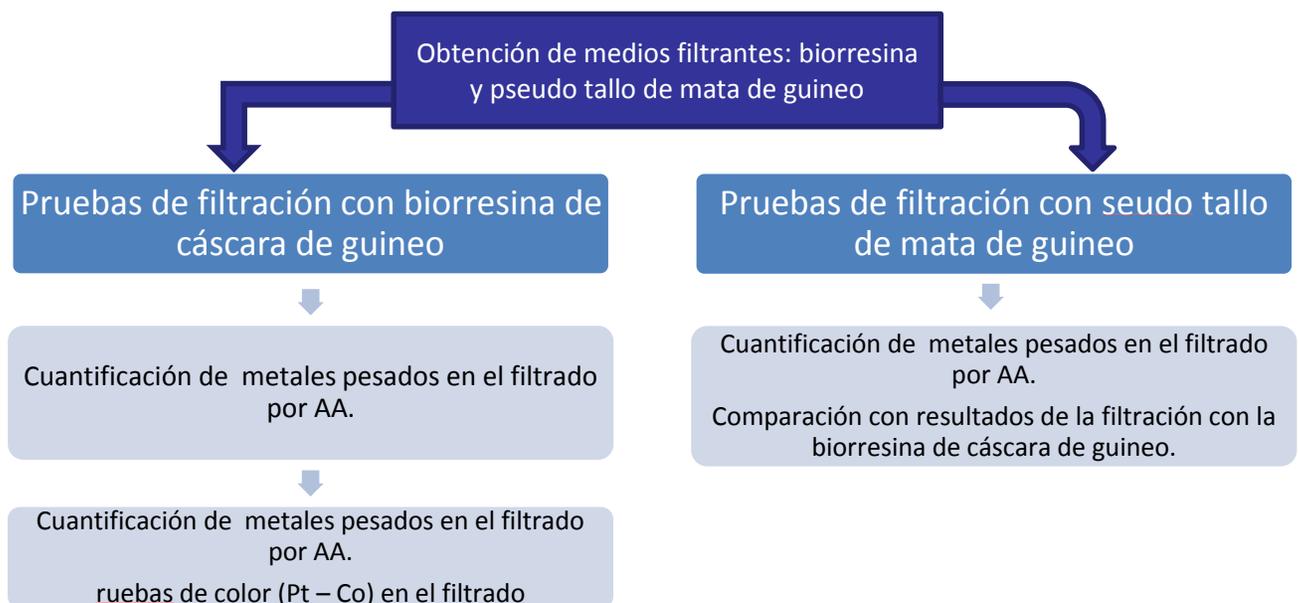
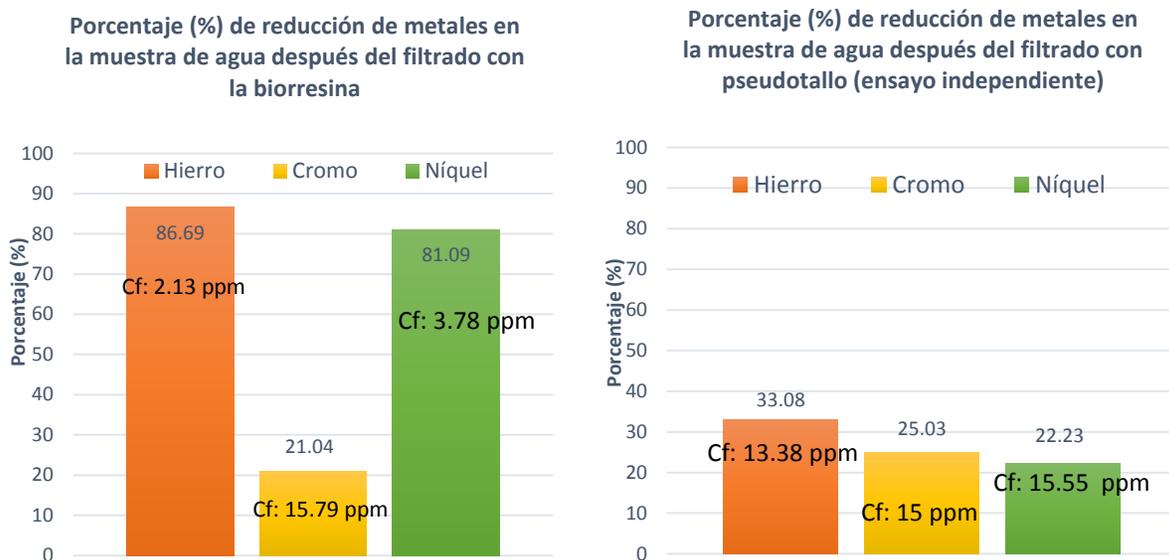


Figura 21. Esquema de parte experimental: Ensayos independientes. Fuente: Elaboración propia.

- Por lo tanto, se procedió a replicar las mismas condiciones que se utilizaron para el ensayo con la biorresina 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 picado y el tiempo de contacto en el filtro fue de 90 minutos aproximadamente, para ambos casos.

Figura No 22. Comparación de porcentajes de reducción de metales pesados en la muestra de agua, entre biorresina de cáscara y pseudo tallo de mata de guineo (pruebas independientes).

Fuente: Elaboración propia.



Puede verse que, aun en idénticas condiciones de operación, la biorresina de cáscara de guineo, a grandes rasgos, tiene mayor capacidad intercambiadora de cationes si se la compara con el pseudo tallo de mata de guineo.

7. RESULTADOS

7.1. CARACTERIZACIÓN DE LOS MEDIOS FILTRANTES.

Los parámetros determinados en el Laboratorio de Química fueron: densidad y tamaño de partícula. Los resultados se muestran a continuación:

7.1.1. Densidad.

Se determinó por método indirecto, por gravimetría. Los resultados promedios de los tres medios filtrantes se muestran en la siguiente tabla, si se desean consultar los cálculos puede dirigirse al Anexo B1.

Tabla No 4. Resultado de pruebas fisicoquímicas a medios filtrantes.

Prueba	Biorresina 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 (Comercial Click E.I.R.L, s.f.)

7.1.2. 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 (Ver detalle en Anexo B2). Los tamaños de partícula para la biorresina de cáscara de guineo y el carbón activado de cáscara de coco, se han representado gráficamente:

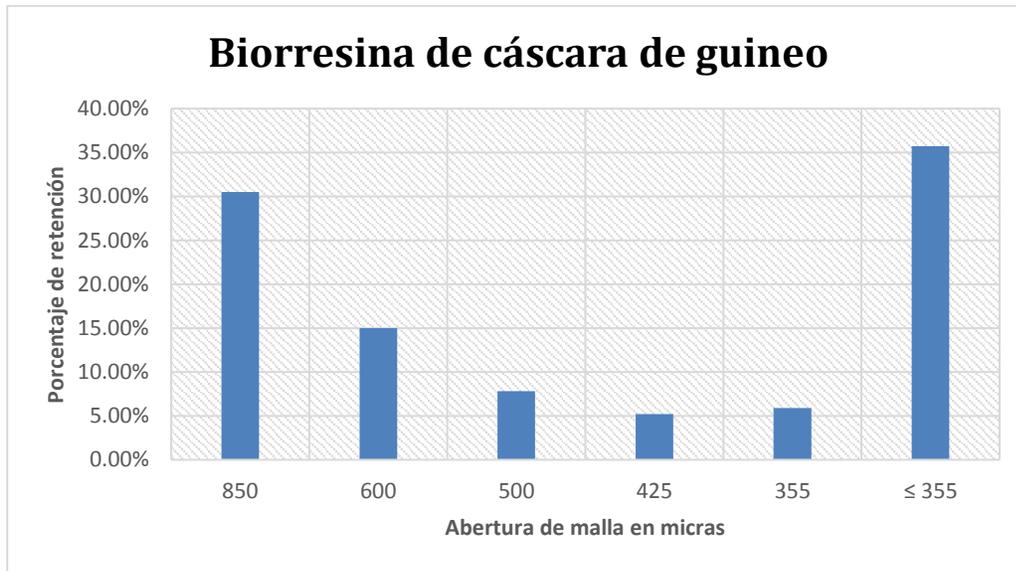


Figura No 23. Resultados de porcentaje de retención vs abertura de malla en micras de biorresina de cáscara de guineo. Fuente: Elaboración propia

En la figura No 20 puede visualizarse que la biorresina es bastante heterogénea en cuanto a su tamaño de partícula. Sin embargo, es evidente que más de un 35% del medio es menor o igual a 355 micras.

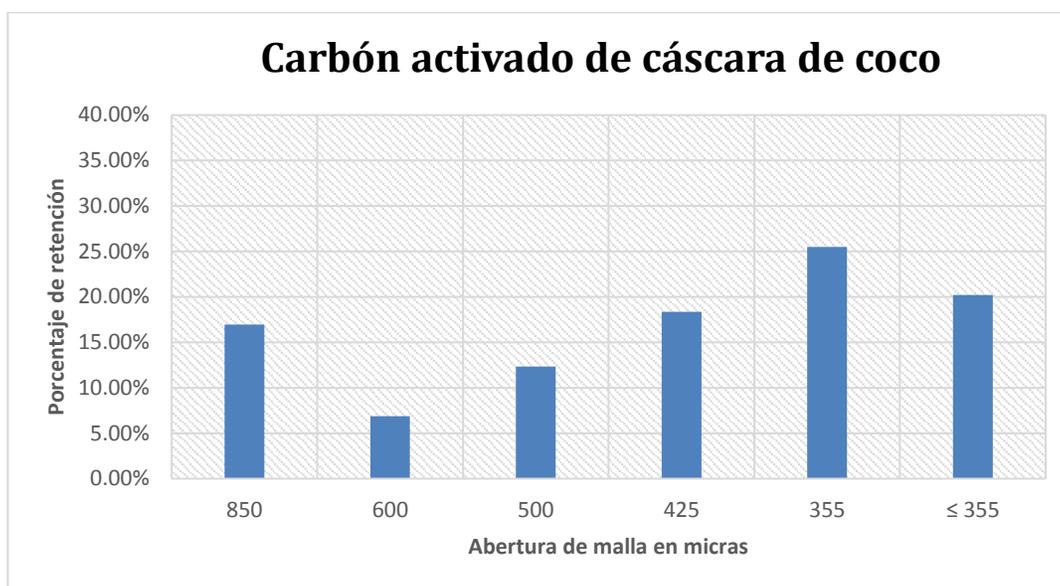


Figura No 24. Resultados de porcentaje de retención vs abertura de malla en micras de carbón activado de cáscara de coco. Fuente: Elaboración propia

En la figura No 21 se aprecia que el carbón activado obtenido en el laboratorio tiene una distribución de tamaño de partícula relativamente homogénea, la mayor parte del material fue retenido en los tamices con una abertura de 425 micras y 355 micras.

7.1.3. Color aparente después de la filtración con biorresina de cáscara de guineo.

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. Una vez el agua fue tratada con la biorresina de cáscara de guineo, durante 90 minutos, se filtró y se diluyó con el fin de medir su color aparente. El resultado promedio fue el siguiente (Ver cálculos en Anexo B):

9,000 unidades de color Pt – Co (pH = 3.3)

7.1.4. Cuantificación de metales pesados después de la filtración con biorresina de 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 biorresina de cáscara de guineo y el tiempo de contacto en el filtro fue de 90 minutos aproximadamente. Los resultados se muestran a continuación:

Tabla No 5. Concentración de metales pesados en la muestra de agua después de la filtración con biorresina de cáscara de guineo.

Metal	Filtrado	Absorbancia	Concentración final (ppm)	%X	%R
Cromo	1	0.0317	14.3569*	71.7844	28.2156
	2	0.0341	15.4438*	77.2192	22.7808
	3	0.0388	17.5725*	87.8623	12.1377
	Promedio			C_{F1} = 15.7911	78.9553
Hierro	1	0.0016	0.0661	8.2645	91.7355
	2	0.0760	3.1405	15.7025	84.2975
	3	0.0773	3.1942	15.9711	84.0289
	Promedio			C_{F1} = 2.1336	13.3127
Níquel	1	0.0891	3.5357	17.6786	82.3214
	2	0.0939	3.7262	18.6310	81.3690
	3	0.1029	4.0833	20.4167	79.5833
	Promedio			C_{F1} = 3.7817	18.9087

Fuente: Elaboración propia.

*La concentración se multiplica por el factor de dilución, que era 25.

Para obtener los resultados de concentración finales, se elaboraron curvas de calibración de los metales de estudio.

Curva de calibración para cromo.

Se elaboraron soluciones estándares de cromo, se registraron las absorbancias de cada una para elaborar la curva de calibración para dicho metal. Cabe aclarar que en este caso (como en los otros dos metales: níquel y hierro) se realizó un ajuste con estándar interno, debido a que hubo interferencia de la matriz. Los resultados y las gráficas ajustadas se muestran a continuación:

Tabla No 6. Soluciones estándares de cromo y sus correspondientes valores de absorbancia.

Concentración de estándares de hierro (ppm)	Absorbancia
0	-0.0351
2.5	0.0358
5	0.2091
10	0.5236
12.5	0.6405
15	0.7451

Al graficar los valores de la tabla anterior, la curva de calibración ajustada es la siguiente:

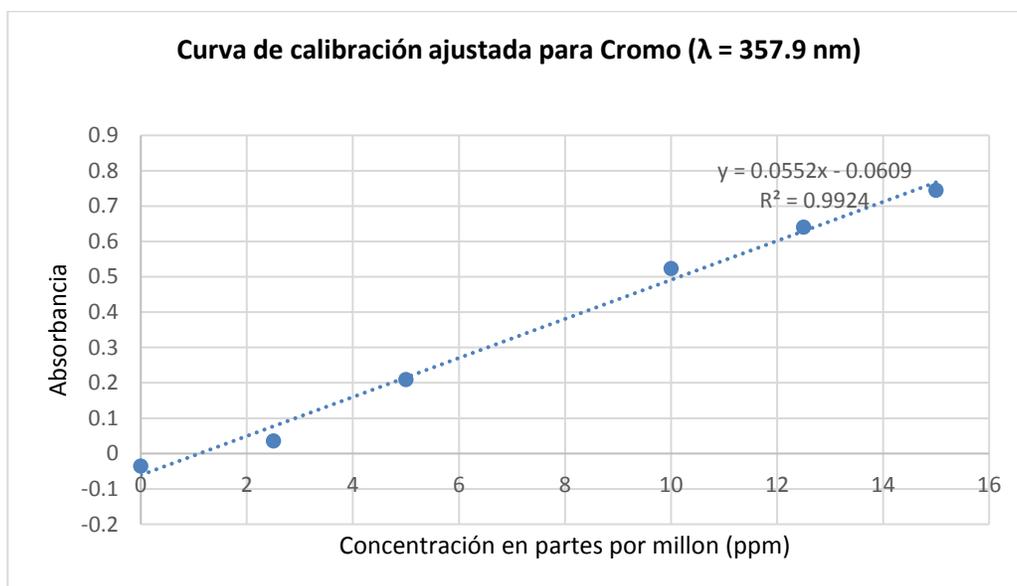


Figura 25. Curva de calibración de soluciones estándares de cromo.

Fuente: Elaboración propia.

Curva de calibración para hierro.

Se elaboraron soluciones estándares de hierro, se registraron las absorbancias de cada una para elaborar la curva de calibración para dicho metal. Sin embargo, fue necesario hacer un ajuste de la curva con un estándar interno, pues los niveles de concentración de metales en la muestra, no eran detectables para los valores de la curva de calibración elegidos. También se tuvo que extrapolar para obtener los valores finales. Los resultados y la gráfica se muestran a continuación:

Tabla No 7. Soluciones estándares de hierro y sus correspondientes valores de absorbancia.

Concentración de estándares de hierro (ppm)	Absorbancia
8.8264	0.2136
13.4504	0.3255
15.8471	0.3835
19.2975	0.467

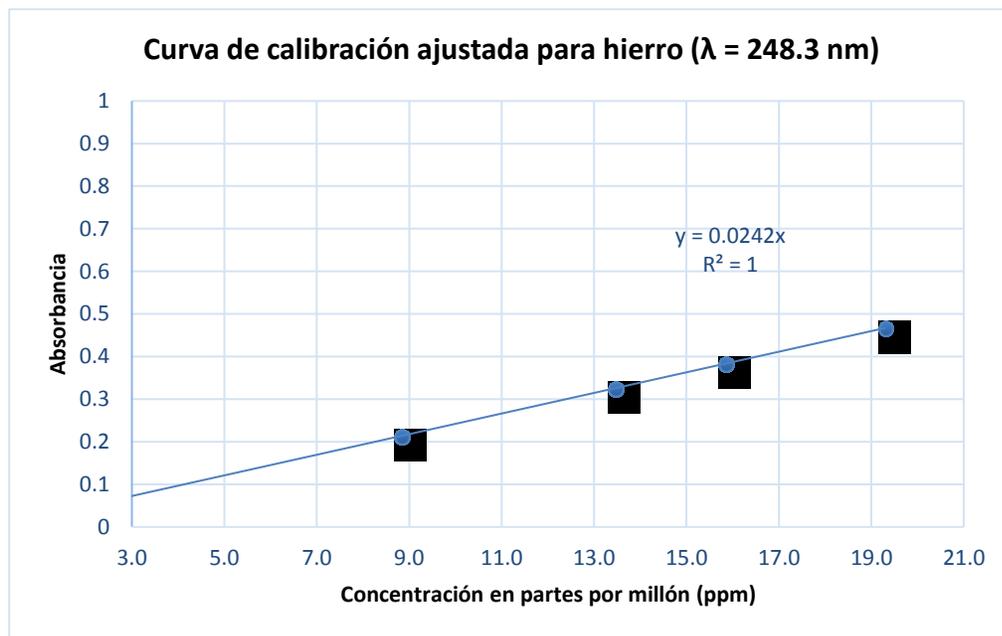


Figura 26. Curva de calibración de soluciones estándares de hierro.

Fuente: Elaboración propia

Curva de calibración para níquel.

Se elaboraron soluciones estándares de níquel, se registraron las absorbancias de cada una para elaborar la curva de calibración para dicho metal. Hubo necesidad de ajustar la curva, para que los niveles del metal fueran medibles en la curva de calibración. Además, se tuvo que extrapolar. Los resultados y la gráfica se muestran a continuación:

Tabla No 8. Soluciones estándares de níquel y sus correspondientes valores de absorbancia.

Concentración de estándares de níquel (ppm)	Absorbancia
9.4325	0.2377
12.9048	0.3252
15.6230	0.3937
19.6429	0.495

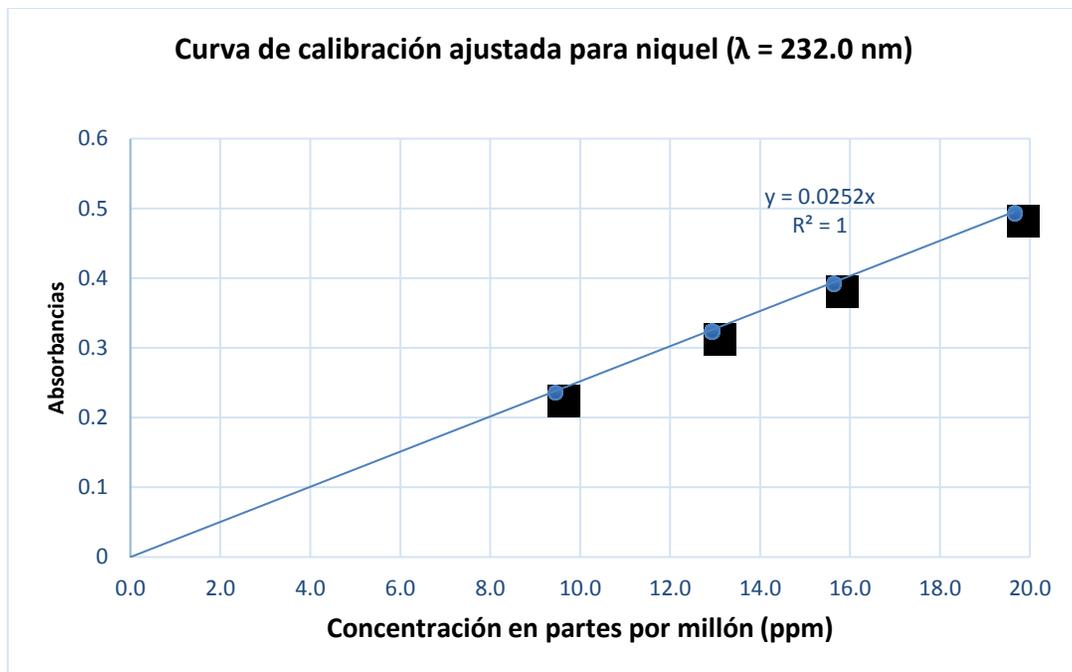


Figura 27. Curva de calibración de soluciones estándares de níquel.

Fuente: Elaboración propia.

Además, se muestra un gráfico comparativo del porcentaje de remoción de hierro, cromo y níquel en el proceso de filtrado con la biorresina (C_f = concentración final del metal en ppm):

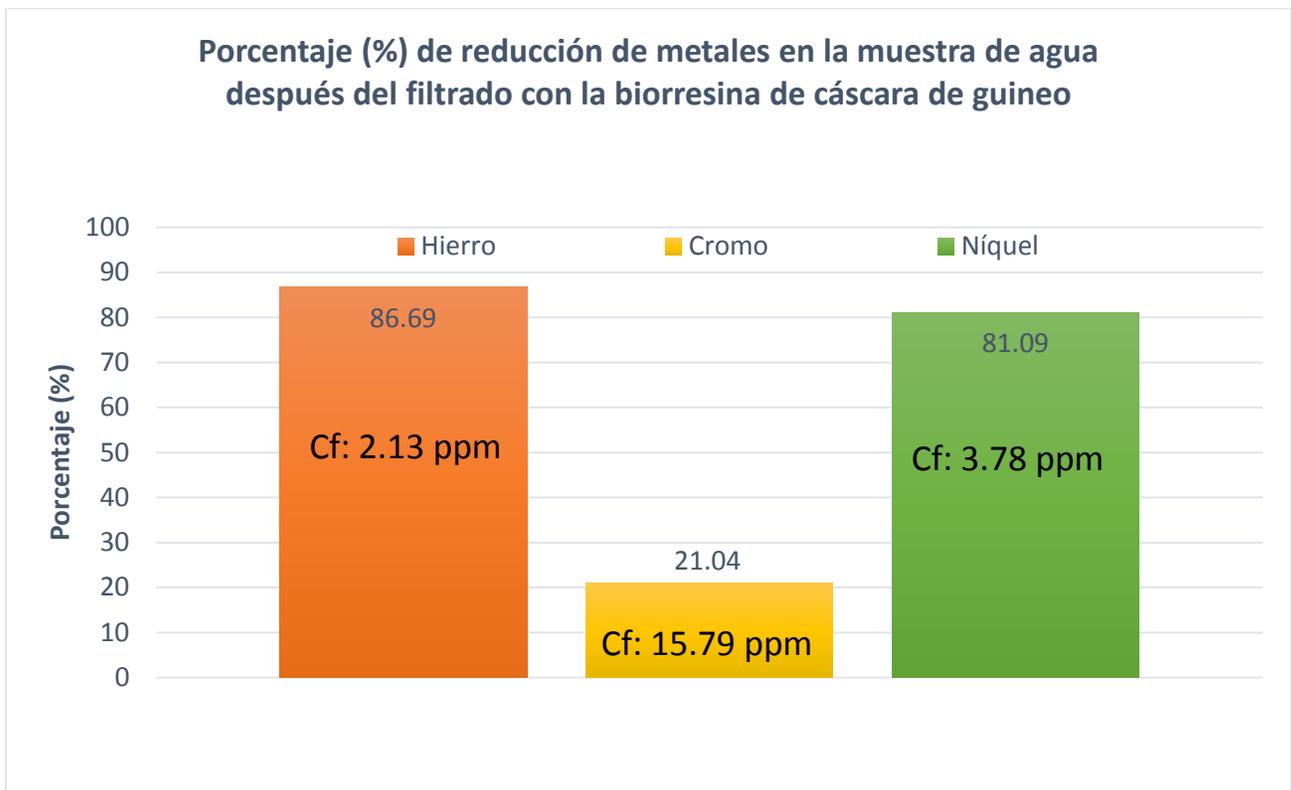


Figura No 28. Comparativo del porcentaje de reducción de cromo, hierro y níquel en la muestra de agua filtrada con biorresina de cáscara de guineo. Fuente: Elaboración propia.

Puede apreciarse que la biorresina 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 biorresina. En esta etapa, no fue posible eliminar totalmente todos los metales en el agua.

7.1.5. Color aparente después de la filtración con pseudotallo de mata de guineo.

Esta característica fue evaluada en la muestra de agua fabricada en el laboratorio, y que provenía del tratamiento con biorresina de cáscara de guineo. Hay que recordar que tenía 9,000 unidades de color. Dicha muestra fue tratada con trozos de pseudo tallo de mata de guineo, durante 20 horas, se filtró y se diluyó con el fin de medir su color aparente. El resultado promedio fue el siguiente (Ver cálculos en Anexo B):

2,292 unidades de color Pt – Co (pH = 4.8)

Con una evidente reducción desde un valor de 9,000 unidades a 2,292. Se está hablando entonces de un porcentaje de reducción del color aparente de alrededor de un 75%.

7.1.6. Cuantificación de metales pesados después de la filtración con pseudotallo de mata de guineo.

A los filtrados resultantes del proceso anterior, con la biorresina, se les realizó un tratamiento con trozos de pseudo tallo de mata de guineo. Las muestras tenían un volumen aproximado de 300 mL (por triplicado), se utilizaron 150 gramos de pseudo tallo de mata de guineo y el tiempo de contacto fue de 20 horas.

Es importante mencionar que las concentraciones iniciales de cada metal, de este proceso en particular, son las concentraciones finales del proceso de filtrado con la biorresina de cáscara de guineo. Eso se detalla en la tabla siguiente, que también contiene los resultados de las mediciones en el espectrofotómetro de absorción atómica. No está demás hacer el recordatorio que las curvas de calibración utilizadas son las mismas que se presentaron en el apartado 7.3.

Tabla No 9. Concentración de metales pesados en la muestra de agua después de la filtración con pseudo tallo de mata de guineo.

Metal	Filtrado	Absorbancia	Concentración final (ppm)	%X	%R
Cromo* $C_0 = 15.7911$ ppm	1	0.0172	7.7899*	49.3307	50.6693
	2	0.0221	10.0091*	63.3842	36.6158
	3	0.0203	9.1938*	58.2217	41.7783
	Promedio			$C_{F2} = 8.9976$	56.9788
Hierro $C_0 = 2.1336$ ppm	1	0.0430	1.7768	83.2799	16.7201
	2	0.0476	1.9669	92.1889	7.8111
	3	0.0572	2.3636	110.7816	- 10.7816
	Promedio			$C_{F2} = 2.0358$	95.4168
Níquel $C_0 = 3.7817$ ppm	1	0.0411	1.6310	43.1275	56.8725
	2	0.0486	1.9286	50.9975	49.0025
	3	0.0557	2.2103	58.4477	41.5523
	Promedio			$C_{F2} = 1.9233$	50.8576

Fuente: Elaboración propia.

*La concentración se multiplico por el factor de dilución, que era 25.

C_0 es concentración inicial.

También, se muestra un gráfico comparativo del porcentaje de remoción de hierro, cromo y níquel en el proceso de filtrado con el pseudo tallo (Nota: Co = concentración inicial y Cf = concentración final en ppm del metal en la muestra de agua filtrada):

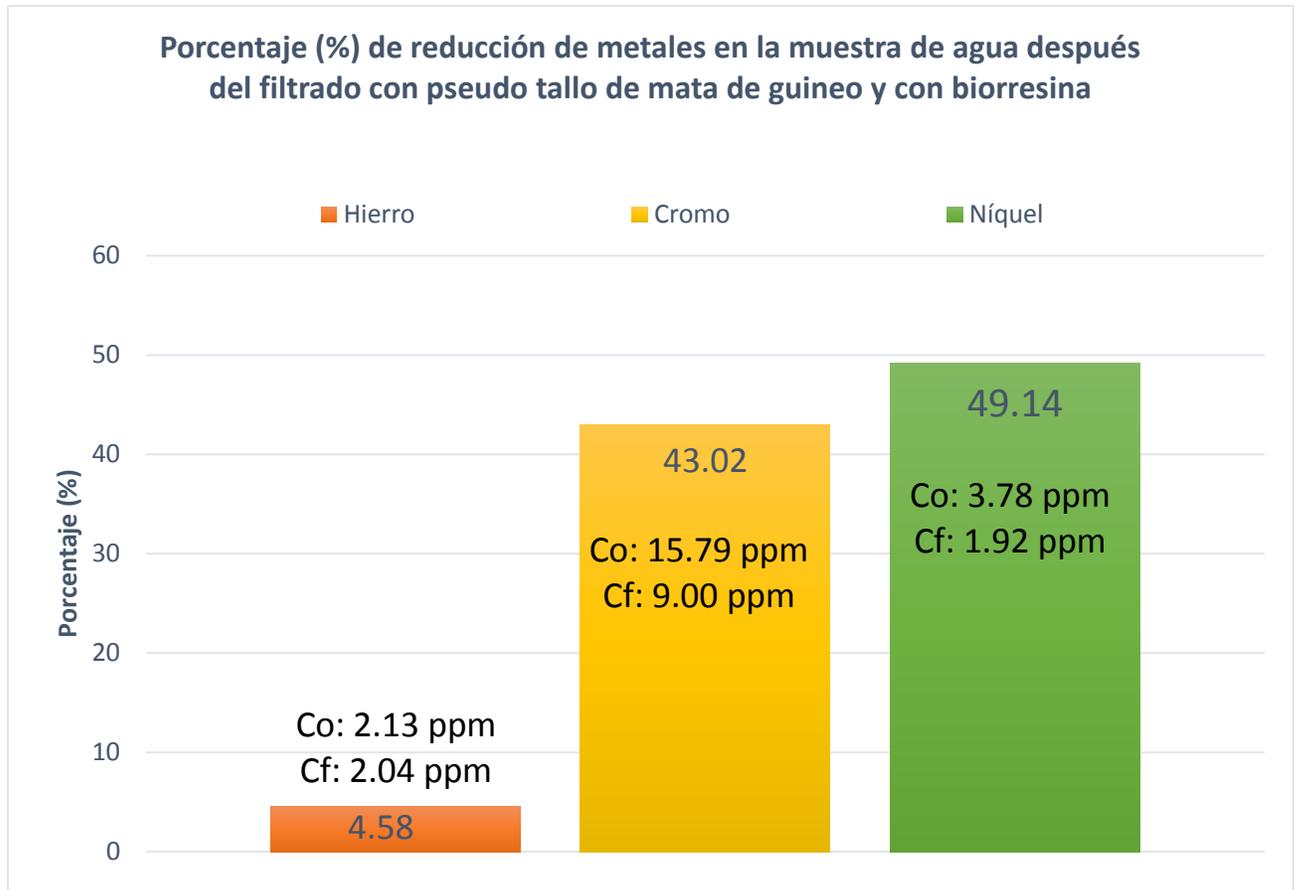


Figura No 29. Comparativo del porcentaje de reducción de cromo, hierro y níquel en la muestra de agua filtrada con pseudotallo de mata de guineo. Fuente: Elaboración propia.

Puede verse que para el filtrado con el pseudo tallo, 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 biorresina de cáscara de guineo.

7.1.7. Color aparente después de la filtración con carbón activado.

Se determinó en la muestra de agua fabricada en el laboratorio por medio del método de platino cobalto. El filtrado resultante del tratamiento con pseudo tallo de mata de guineo, fue puesto en contacto con carbón activado de la cáscara de coco, durante 19 horas, se filtró y se diluyó con el fin de medir su color aparente. El resultado promedio fue el siguiente (Ver cálculos en Anexo B):

417 unidades de color Pt – Co (pH = 9.3)

Es importante señalar que la muestra tenía 2,292 unidades de color, por lo que se obtuvo alrededor de un 82% de disminución de color en el filtrado tratado con carbón activado.

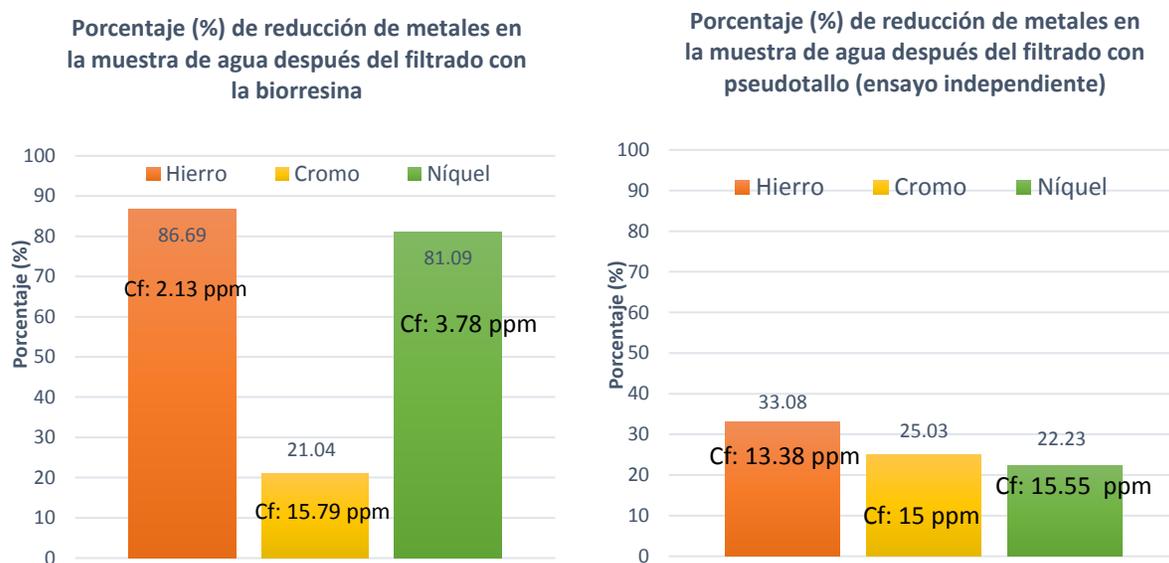
7.1.8. Pruebas de filtrado independientes.

Con el fin de evaluar la capacidad intercambiadora de cationes del pseudotallo de mata de guineo, sin la influencia previa del efecto de la biorresina de cáscara de guineo. Se desarrollaron ensayos adicionales e independientes; para hacer un comparativo entre ambos medios filtrantes, y así, poder visualizar cual es mejor a la hora de remover metales pesados del agua.

Por lo tanto, se procedió a replicar las mismas condiciones que se utilizaron para el ensayo con la biorresina 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:

Figura No 30. Comparación de porcentajes de reducción de metales pesados en la muestra de agua, entre biorresina de cáscara y pseudo tallo de mata de guineo (pruebas independientes).

Fuente: Elaboración propia.



Puede verse que, aun en idénticas condiciones de operación, la biorresina de cáscara de guineo, a grandes rasgos, tiene mayor capacidad intercambiadora de cationes si se la compara con el pseudo tallo de mata de guineo.

7.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Las determinaciones realizadas en el laboratorio de química tenían como objeto, en primer lugar, caracterizar físicamente los medios filtrantes, para establecer comparaciones entre ellos y con otros medios existentes en el mercado. En segundo lugar, al cuantificar características como el color y la cantidad de metales en las muestras de agua, puede verse la capacidad de retención de los medios, y una forma de ver su efectividad. Dado que ya se presentaron los resultados de las pruebas fisicoquímicas a los medios y a las muestras de agua, se puede decir al respecto, lo siguiente:

7.2.1. Densidad de los medios.

Para el caso de la biorresina 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), la explicación en el aumento en el valor de la densidad respecto a la investigación pasada (García, 2014) en donde se obtuvo una densidad de 339.17 g/L, es debido a que ahora 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 pseudo tallo 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) (Comercial Click E.I.R.L, s.f.) Y que está más cercano a la densidad de los carbones activados en polvo.

7.2.2. Tamaño de partícula.

En cuanto a la biorresina de cáscara de guineo, su tamaño de partícula es más fino que el obtenido en la investigación anterior (García, 2014), 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 (Guerra, 2009); 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.

7.2.3. Tratamiento de la muestra de agua con la biorresina de cáscara de guineo.

Las diferencias con la investigación anterior, en la que se obtuvieron los siguientes porcentajes de remoción de metales: 84.99 % de Cr^{6+} , 71.89% de Fe^{3+} y 23.57 % de Ni^{2+} (García, 2014), y los resultados que se lograron en esta investigación de: 21.04 % de Cr^{6+} , 86.69% de Fe^{3+} y 21.04 % de Ni^{2+} . Al comparar ambos resultados, puede apreciarse una drástica disminución en el porcentaje de retención del cromo, una leve mejora en la remoción de hierro y para el níquel el resultado es casi el mismo. Este cambio puede explicarse, por una parte: por el menor tamaño de partícula que tenía la biorresina; y por otra, al método utilizado en la cuantificación de hierro, cromo y níquel en las

muestras de agua; pues anteriormente, se determinaron estos, por espectrofotometría de absorción molecular, en particular métodos colorimétricos, que en su momento se aclaró, que presentaban interferencias por la coloración que la biorresina aporta a la muestra de agua. En la presente investigación, se repitieron los experimentos con las mismas condiciones ambientales y tiempo de contacto, pero el contenido de metales se determinó por absorción atómica, para minimizar las interferencias de la coloración del agua. Cabe señalar, que no se modificó la composición química de la biorresina, solo su tamaño de partícula; por lo cual, su capacidad de intercambiar cationes se adjudican a que posee un grupo carboxilo unido a una matriz de un polímero tridimensional (lignina) (Boniolo, 2008)

7.2.4. Tratamiento de la muestra de agua con pseudo tallo de mata de guineo.

Para un tiempo de contacto de 20 horas y 150 gramos de material filtrante, se determinó que: el pseudo tallo si tiene el potencial para retener cromo (43.02%), hierro (4.58%) y níquel (49.14%), en menor proporción que la biorresina de cáscara de guineo, pero tampoco son porcentajes despreciables. 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 columbica con especies catiónicas en agua (Anirudhan & Shibi, 2007; Kumar, 2006). En cuanto a las propiedades del pseudo tallo de mata de guineo para remover color del agua, como fue en este caso (de 9,000 a 2,292 unidades de color), se puede explicar desde los indicios 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 (Namasivayam & Kanchana, 1992; Hassan, Farooq, Ahmad, Athar, & Khan, 2017; Padam, Tin, Chye, & Abdullah, 2014).

7.2.5. 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 biorresina 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%, quedando un remanente que no pudo ser eliminado con más carbón activado o con mayor tiempo de contacto. Al final la muestra terminó con un valor de 417 unidades de color Pt-Co. Este resultado no es aceptable de acuerdo a la Norma Salvadoreña Obligatoria 13.49.01:09 Agua. Aguas residuales descargadas a cuerpo receptor, en donde se especifica que el efluente líquido no deberá incrementar color visible al cuerpo receptor.

La razón por la cual este medio filtrante no fue capaz de eliminar totalmente el color de la muestra, se puede deber a que si bien es cierto, la cáscara de coco es adecuada para la preparación de carbón activado por su contenido lignocelulosico y su bajo contenido de cenizas, el método de activación del material (con vapor de agua) no produjo el tamaño de poro necesario para adsorber los pigmentos en el agua, para este tipo de aplicaciones se necesita una tamaño de poro más grande, de un mesoporo > 2 nm (Velásquez, Mejía, Carrasquilla, López, & Garcés, 2007). Además, es muy probable que el carbón obtenido en el laboratorio haya tenido impurezas como sustancias inorgánicas residuales.

8. CONCLUSIONES

1. No se pudo comprobar la hipótesis de trabajo, planteada en esta investigación, puesto que se obtuvo una reducción, pero no eliminación, de los cationes Fe^{3+} , Cr^{6+} y Ni^{2+} , en agua contaminada; utilizando los medios filtrantes elaborados a partir de las cáscaras de guineo y de coco.
2. Se determinó que: al reducir su tamaño de partícula y cambiar el método de cuantificación (espectrofotometría de absorción atómica en lugar de absorción molecular) de metales pesados en agua, su selectividad y capacidad para capturar cationes muestra un comportamiento muy diferente respecto a la investigación anterior, en la cual se obtuvieron los siguientes porcentajes de remoción de metales: 84.99 % de Cr^{6+} , 71.89% de Fe^{3+} y 23.57 % de Ni^{2+} (García, 2014), que al compararse con los obtenidos en esta experiencia: Cr^{6+} (21.04%), Fe^{3+} (86.69%) y Ni^{2+} (81.09%). Lo más probable, es que en la investigación previa, hubo interferencias por la coloración de la muestra y de tipo instrumental.
3. El pseudotallo de mata de guineo, por ser un material lignocelulósico, tiene propiedades similares a la biorresina de cáscara de guineo; fue capaz de capturar cationes, en menor proporción, pero con la ventaja que no transmite color al medio; por el contrario, ayudó a reducir la presencia de color en las muestras de agua, esto se debe a que está constituido por grupos carboxilo y amino.
4. El carbón activado de la cáscara de coco fue efectivo para remover color en las muestras de agua en un 82%, se cree que se podría mejorar este resultado cambiando el método de activación físico (con vapor de agua) utilizado en esta investigación, por uno químico, para aumentar el tamaño de poro ideal para aplicaciones en tratamiento de aguas residuales.
5. 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. Sin embargo, los tiempos de contacto con el agua contaminada son prolongados, y necesitan de tratamientos posteriores para que los resultados cumplan con las normativas locales que regulan las descargas de aguas residuales a un cuerpo receptor. Lo cual lleva a concluir, que este tipo de tratamientos pueden ser utilizados como una vía complementaria a los que se usan tradicionalmente en la actualidad.

9. RECOMENDACIONES

1. Se sugiere modificar químicamente las biomásas para optimizar su capacidad de remoción de metales pesados y color en agua contaminada. Estas modificaciones pueden ser desde polimerización, atacar grupos funcionales específicos para “activarlos” o llevar estos sustratos hasta su forma inorgánica.
2. Hacer uso de las bases de patentes gratuitas para buscar soluciones que puedan adecuarse a la realidad nacional, que complementen los hallazgos de esta y otras investigaciones similares, para así, generar propuestas alternativas y más económicas al tratamiento tradicional de aguas contaminadas con metales pesados.
3. Ampliar los resultados de esta investigación al diseño de un equipo, a nivel industrial, que elimine los metales pesados en aguas residuales utilizando biomásas de diferente tipo.

10. GLOSARIO

Adsorción es un proceso por el cual átomos, iones o moléculas son atrapados o retenidos en la superficie de un material en contraposición a la absorción, que es un fenómeno de volumen. Es decir, es un proceso en el cual un contaminante soluble (adsorbato) es eliminado del agua por contacto con una superficie sólida (adsorbente). El proceso inverso a la adsorción se conoce como desorción.

Bioacumulativo: Que se acumula y persiste en los tejidos y vísceras de los seres vivos que componen la cadena alimentaria.

Biodegradable es el producto o sustancia que puede descomponerse en los elementos químicos que lo conforman, debido a la acción de agentes biológicos, como plantas, animales, microorganismos y hongos, bajo condiciones ambientales naturales.

Antropogénico se refiere a los efectos, procesos o materiales que son el resultado de actividades humanas a diferencia de los que tienen causas naturales sin influencia humana.

Fisorción o adsorción física es un tipo especial de adsorción. En química se denomina adsorción al acúmulo o depósito de material (adsorbato) en un plano o superficie (a diferencia de la absorción que es un proceso volumétrico).

Intercambio iónico es un intercambio de iones entre dos electrolitos o entre una disolución de electrolitos y un complejo. En la mayoría de los casos se utiliza el término para referirse a procesos de purificación, separación, y descontaminación de disoluciones que contienen dichos iones, empleando para ello sólidos poliméricos o minerales dentro de dispositivos llamados intercambiadores de iones.

Lixiviación, o extracción sólido-líquido, es un proceso en el que un disolvente líquido pasa a través de un sólido pulverizado para que se produzca la disolución de uno o más de los componentes solubles del sólido.

pH es una medida de acidez o alcalinidad de una disolución. El pH indica la concentración de iones hidronio $[H_3O]^+$ presentes en determinadas disoluciones.

Potencial redox es una medida de la actividad de los electrones. Está relacionado con el pH y con el contenido de oxígeno. Es análogo al pH ya que el pH mide la actividad de protones y el potencial redox mide la de los electrones.

Quelante, o secuestrante, o antagonista de metales pesados, es una sustancia que forma complejos con iones de metales pesados. A estos complejos se los conoce como quelatos, palabra que proviene de la palabra griega chele que significa "garra". Una de las aplicaciones de los quelantes es evitar la toxicidad de los metales pesados para los seres vivos.

Radiotoxicidad: la toxicidad potencial de un material radiactivo debida a su ingestión, inhalación o absorción.

11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvarado, A., & Gómez, D. (2013). *Estudio preliminar de la retención de plomo en agua a partir de cáscaras de musa sapientum (banano) utilizadas como filtro*. Tesis para optar al grado de Licenciatura en Química y Farmacia, Universidad de El Salvador, San Salvador.
- Amuda, O., Giwa, A., & Bello, I. (2007). Removal of heavy metal from industrial wastewater using modified activated coconut shell carbon. *Biochemical Engineering Journal*, 2(36), 174-181.
- Anirudhan, T., & Shibi, I. (2007). Preparation of a cation exchanger containing carboxyl groups from banana stalk and its utilization as chelating agent. *Infomusa*, 1&2(16), 7-11.
- Babel, S., & Kurniawan, T. A. (2004). Cr (VI) removal from synthetic wastewater using coconut shell charcoal and commercial activated carbon modified with oxidizing agents and/or chitosan. *Chemosphere*, 7(54), 951-967.
- Boniolo, M. R. (2008). *Biossorcao da uranio nas cascas de banana*. Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN, Sao Paolo.
- Caballero, V. (2012). *Evaluación del uso de la cáscara del banano (Musa AAA) variedad Williams para la remoción de arsénico en el agua para consumo humano*. Tesis para optar al grado de Master en Ingeniería Sanitaria, Universidad de San Carlos, Guatemala.
- Cañas, M. A., Abud, Y. C., & Trujillo, M. M. (2013). Evaluación de la toxicidad ocasionada por el exceso de micronutrientes en plantas de Arabidopsis thaliana. *Biológicas Revista de la DES Ciencias Biológico Agropecuarias*, 1(14), 30-306. Recuperado el 9 de marzo de 2017
- Carrillo, V. Y., & Muñoz, N. E. (2013). *Elaboración de un filtro a base de carbon activado obtenido del endocarpo de coco con el proposito de reducir la dureza en el agua potable*. Trabajo de graduación para optar al grado de Licenciatura en Química y Farmacia, Universidad de El Salvador, San Salvador.
- Esquivel, O. (2007). *Diagnóstico Nacional de la Calidad de Aguas Superficiales en El Salvador*. San Salvador.
- García, A. V. (2014). *Elaboración de una biorresina intercambiadora de cationes para eliminar metales pesados en aguas a partir de cáscara de plátano o guineo*. Escuela Especializada en Ingeniería ITCA FEPADE, Santa Tecla.
- Ho, Y., & Ofomaja, A. (2006). Biosorption thermodynamics of cadmium on coconut copra meal as biosorbent. *Biochemical Engineering Journal*, 2(30), 117-123.
- Infoagro.com. (Sin año). Recuperado el 20 de abril de 2017, de http://www.infoagro.com/documentos/el_cultivo_del_platano_banano.asp
- Kumar, U. (2006). Agricultural products and by-products as a low cost adsorbent for heavy metal removal from water and wastewater: a review. *Sci Res Essays*, 1(2), 033 - 037.
- López, C. R., & Reyes, O. S. (2012). *Propuesta de elaboración de un filtro para el tratamiento de boro en aguas residuales provenientes de La Geo, Ahuachapán*. Trabajo de graduación para optar al grado de Licenciatura en Química y Farmacia, Universidad de El Salvador, San Salvador.

Luna, D., González, A., Gordon, M., & Martín, N. (2007). Obtención de carbón activado a partir de la cáscara del coco. *ContactoS*, 10(64), 39-48.

Mena, Z. (2013). *Informe de la Calidad del agua de los ríos. El Salvador / 2012 - 2013*. San Salvador.

Noeline, B., Manohar, D., & Anirudhan, T. (2005). Kinetic and equilibrium modelling of lead (II) sorption from water and wastewater by polymerized ba-nana stem in a batch reactor. *Separation and Purification Technology*, 2(45), 131-140.

Padam, B., Tin, H., Chye, F., & Abdullah, M. (2014). Banana by-products: an under-utilized renewable food biomass with great potential. *Journal of food science and technology*, 12(21), 3527 - 3545.

Platt Sanchez, L. C. (2001). *Estudio de biosorción de metales pesados de un efluente de origen antropogénico utilizando E. coli*. Universidad de Sonora.

Rodriguez, I., González, J., & Juárez, V. (2012). El uso de diferentes biomazas para la eliminación de metales pesados en sitios contaminados. *Ide@s CONCYTEG*, 7(85), 911 - 922. Obtenido de http://concyteg.gob.mx/ideasConcyteg/Archivos/85_3_ACOSTA_RODRIGUEZ_ET_AL.pdf

Sekar, M., Sakthi, V., & Regaraj, S. (2004). Kinetics and equilibrium adsorption study of lead (II) onto activated carbon prepared from coconut shell. *Journal of colloid and interface science*, 2(279), 307-313.

Velásquez, J., Mejía, L., Carrasquilla, F., López, R., & Garcés, B. (2007). Obtención de carbón activado a partir de cáscara de coco pre tratada con vapor. *Revista Investigaciones Aplicadas*, 1(1).

Vézina, A., & Baena, M. (2006). *ProMusa*. Recuperado el 20 de abril de 2017, de <http://www.promusa.org/Morfolog%C3%ADa+de+la+planta+del+banano>

Vieira, A., Santana, S. A., Bezerra, C. W., Silva, H. A., Chaves, J. A., de Melo, J. C., & Airoidi, C. (2009). Kinetics and thermodynamics of textile dye adsorption from aqueous solutions using babassu coconut mesocarp. *Journal of Hazardous Materials*, 2(166), 1272-1278.

Vieira, A., Santana, S., Bezerra, C., Silva, H., Melo, J. d., Filho, E. d., & Airoidi, C. (2010). Copper sorption from aqueous solutions and sugar cane spirits by chemically modified babassu coconut (*Orbignya speciosa*) mesocarp. *Chemical engineering journal*, 1(16), 99-105.

Yépez Guerrero, C. A. (2011). *Remoción de detergentes de aguas residuales textiles empleando hongos seleccionados obtenidos a partir de efluentes de industria textil y evaluación de su tolerancia a metales pesados a nivel de laboratorio*. Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/4949/2/T-ESPE-033018.pdf>

12.ANEXOS

12.1.ANEXO A: PARTE EXPERIMENTAL.

CONSTRUCCIÓN DEL FILTRO Y PROCESO DE FILTRADO DE MUESTRA DE AGUA



Colocar una botella limpia en el soporte



Colocar 30 g de biorresina y grava tratada



Verter 350 mL de muestra de agua , esperar 90 min y drenar.

12.2.ANEXO B - CÁLCULOS.

12.2.1.ANEXO B1. Cálculos para la Determinación de la Densidad en los Medios Filtrantes.

Haciendo uso de la expresión:

$$\rho = m/v$$

Considerando que el resultado final tiene que expresarse en g / L. Se sustituyeron los valores correspondientes a los datos obtenidos en las mediciones de masa y volumen, los cuales se detallan en la siguiente tabla:

Medio filtrante	Masa (g)	Volumen (L)	Cálculo	Densidad aparente seca (g / L)
Biorresina de cáscara de guineo	5.7578	0.010	$\frac{5.7578}{0.010}$	575.78
	5.4007	0.010	$\frac{5.4007}{0.010}$	540.07
	6.6611	0.010	$\frac{6.6611}{0.010}$	666.11
	PROMEDIO:			593.99
Pseudotallo de mata de guineo	5.0000	0.030	$\frac{5.0000}{0.030}$	166.67
	5.0000	0.035	$\frac{5.0000}{0.035}$	142.86
	5.0000	0.035	$\frac{5.0000}{0.035}$	142.86
	PROMEDIO:			150.80
Carbón activado de cáscara de coco	3.3602	0.010	$\frac{3.3602}{0.010}$	336.02
	3.2867	0.010	$\frac{3.2867}{0.010}$	328.67
	3.2912	0.010	$\frac{3.2912}{0.010}$	329.12
	PROMEDIO:			331.27

12.2.2. ANEXO B2. Análisis de Tamaño de Partícula de los Medios Filtrantes.

Para estimar el tamaño de partícula que tiene el medio filtrante se hizo uso de tamices acoplados en cascada, en orden decreciente de abertura de malla; luego, se calcula el porcentaje de retención de cada tamiz con la formula:

$$\% \text{Retenido en tamiz } X = \frac{(P_1 - P_2)}{w} * 100$$

Dónde: P_1 = Peso del tamiz X con muestra después de agitar

P_2 = Peso del tamiz vacío

w = Peso de la muestra

Medio filtrante	Tamiz No	P ₁ masa (g)	P ₂ masa (g)	Cálculo de % retenido	Resultado
Biorresina de cáscara de guineo	20	336.7	306.2	$\%R = \frac{(336.7 - 306.2)g}{100 g} * 100$	30.5%
	30	281.6	266.6	$\%R = \frac{(281.6 - 266.6)g}{100 g} * 100$	15.0%
	35	267.7	259.9	$\%R = \frac{(267.7 - 259.9)g}{100 g} * 100$	7.8%
	40	257.8	252.6	$\%R = \frac{(257.8 - 252.6)g}{100 g} * 100$	5.2%
	45	237.3	231.4	$\%R = \frac{(237.3 - 231.4)g}{100 g} * 100$	5.9%
	Recibidor	313.3	277.6	$\%R = \frac{(313.3 - 277.6)g}{100 g} * 100$	35.7%
	Total:				100.1%
Carbón activado de cáscara de coco	20	314.68	306.2	$\%R = \frac{(314.68 - 306.2)g}{50 g} * 100$	16.96%
	30	270.04	266.6	$\%R = \frac{(270.04 - 266.6)g}{50 g} * 100$	6.88%
	35	266.07	259.9	$\%R = \frac{(266.07 - 259.9)g}{50 g} * 100$	12.34%
	40	261.77	252.6	$\%R = \frac{(261.77 - 252.6)g}{50 g} * 100$	18.34%
	45	244.15	231.4	$\%R = \frac{(244.15 - 231.4)g}{50 g} * 100$	25.5%
	Recibidor	287.71	277.6	$\%R = \frac{(287.71 - 277.6)g}{50 g} * 100$	20.22%
	Total:				100.24%

12.2.3. ANEXO B3. Preparación de Soluciones Estándares de Níquel, Cromo y Hierro.

Solución intermedia:

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

En donde:

C_1 = Concentración de solución stock multielementos (1,000 ppm)

V_1 = Volumen de alícuota a tomar de solución multielementos

C_2 = Concentración de solución intermedia (20 ppm)

V_2 = Volumen a preparar de solución intermedia (100 mL)

Al sustituir valores y despejar V_1 , se tiene que:

$$(1,000 \text{ ppm})V_1 = (20 \text{ ppm})(100 \text{ mL})$$

$$V_1 = 2 \text{ mL}$$

Preparación de estándares:

Haciendo uso de la misma ecuación, se calculan las alícuotas necesarias para preparar 25 mL a partir de la solución intermedia de 20 ppm. Tal y como sigue:

Concentración de estándar de Ni, Cr y Fe (ppm)	Cálculos:	Alícuota a tomar:
15	$(20 \text{ ppm})V_1 = (15 \text{ ppm})(25 \text{ mL})$	$V_1 = 18.8 \text{ mL}$
12.5	$(20 \text{ ppm})V_1 = (12.5 \text{ ppm})(25 \text{ mL})$	$V_1 = 15.6 \text{ mL}$
10	$(20 \text{ ppm})V_1 = (10 \text{ ppm})(25 \text{ mL})$	$V_1 = 12.5 \text{ mL}$
5	$(20 \text{ ppm})V_1 = (5 \text{ ppm})(25 \text{ mL})$	$V_1 = 6.2 \text{ mL}$
2.5	$(20 \text{ ppm})V_1 = (2.5 \text{ ppm})(25 \text{ mL})$	$V_1 = 3.1 \text{ mL}$

12.2.4. ANEXO B4. Preparación de Muestra de Agua a Utilizar en las Pruebas de Filtración.

Se prepararon 2 litros de muestra de agua para la realización de las pruebas de filtrado. Ese volumen fue elaborado en 2 partes, pues el balón más grande disponible era de un litro. Los cálculos se detallan a continuación:

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

En donde:

C_1 = Concentración de solución stock multielementos (1,000 ppm)

V_1 = Volumen de alícuota a tomar de solución multielementos

C_2 = Concentración deseada de metales (Fe, Cr y Ni) en la muestra de agua (20 ppm)

V_2 = Volumen a preparar de muestra de agua (1,000 mL)

Al sustituir valores y despejar V_1 , se tiene que:

$$(1,000 \text{ ppm})V_1 = (20 \text{ ppm})(1,000 \text{ mL})$$

$$V_1 = 20 \text{ mL}$$

12.2.5. ANEXO B5. Color Aparente en la Muestra de Agua.

Se determinó por el método de platino cobalto.

Se calculan las unidades de color por medio de la siguiente ecuación:

Unidades de color Pt-Co = A x FD

Donde

A = Color estimado de la muestra

FD = Factor de dilución de la muestra.

En la siguiente tabla se presentan los cálculos que corresponden a cada etapa de la muestra de agua:

Medio filtrante	A Color estimado	FD Factor de dilución	Cálculo	Unidades de color Pt - Co
Biorresina de cáscara de guineo pH: 3.3	90 u	100:0.1	= 90 x 1,000	9,000 u
	90 u	100:0.1	= 90 x 1,000	9,000 u
	90 u	100:0.1	= 90 x 1,000	9,000 u
	PROMEDIO:			9,000 u
Pseudotallo de mata de guineo. pH: 4.8	90 u	25:1	= 90 x 25	2,250 u
	95 u	25:1	= 95 x 25	2,375 u
	90 u	25:1	= 90 x 25	2,250 u
	PROMEDIO:			2,292 u
Carbón activado de cáscara de coco. pH: 9.3	80 u	10:2	= 80 x 5	400 u
	90 u	10:2	= 90 x 5	450 u
	80 u	10:2	= 80 x 5	400 u
	PROMEDIO:			417 u

12.2.6. ANEXO B6. Cálculo de Porcentajes de Remoción

A las muestras de agua que fueron tratadas con los medios filtrantes, se les midió su contenido de cromo, níquel y hierro, por medio de espectrofotometría de absorción atómica. Se utilizaron como referencia las curvas de calibración ajustadas que se presentaron en el anexo anterior. La concentración inicial de todos los metales era de 20 ppm. A continuación se explica el procedimiento utilizado para calcular el porcentaje de remoción que metal experimentó, después de que la muestra de agua que los contenía fue filtrada con la biorresina de cáscara de guineo.

Utilizando la expresión: $\%X = \frac{[M] \cdot 100\%}{C_0}$

En donde:

%X: Porcentaje del metal presente en la muestra de agua.

[M]: Concentración del metal expresado en ppm, en la muestra de agua después del filtrado.

C₀: Concentración inicial del metal expresado en ppm que entraba al proceso de filtrado.

Posteriormente este resultado se sustituye en: $\%R = 100\% - \%X$

En donde %R representa el porcentaje de metal que fue retenido por la biorresina.

Entonces para la determinar el porcentaje de remoción de los metales en los filtrados provenientes del tratamiento con 30 gramos biorresina de cáscara de guineo, con 90 minutos de tiempo de contacto se tiene que:

Metal	Filtrado	Absorbancia	[M] (ppm)	%X	%R
Cromo*	1	0.0317	14.3569	71.7844	28.2156
	2	0.0341	15.4438	77.2192	22.7808
	3	0.0388	17.5725	87.8623	12.1377
	Promedio		C_{F1} = 15.7911	78.9553	21.0447
Hierro	1	0.0016	0.0661	8.2645	91.7355
	2	0.0760	3.1405	15.7025	84.2975
	3	0.0773	3.1942	15.9711	84.0289
	Promedio		C_{F1} = 2.1336	13.3127	86.6873
Níquel	1	0.0891	3.5357	17.6786	82.3214
	2	0.0939	3.7262	18.6310	81.3690
	3	0.1029	4.0833	20.4167	79.5833
	Promedio		C_{F1} = 3.7817	18.9087	81.0913

*La concentración se multiplica por el factor de dilución, que era 25.

Tomando como base estos resultados, que vendrían a ser los valores iniciales de la segunda etapa de filtración, en el cual, a las muestras 1, 2 y 3 se sometieron a un tratamiento con el pseudo tallo de mata de guineo (150 gramos) durante 20 horas. La cuantificación de metales después de este proceso, se realizó por medio de espectrofotometría de absorción atómica. Los resultados de estas mediciones se presentan a continuación:

Metal	Filtrado	Absorbancia	[M] (ppm)	%X	%R
Cromo* C ₀ = 15.7911 ppm	1	0.0172	7.7899	49.3307	50.6693
	2	0.0221	10.0091	63.3842	36.6158
	3	0.0203	9.1938	58.2217	41.7783
	Promedio		C_{F2} = 8.9976	56.9788	43.0212
Hierro C ₀ = 2.1336 ppm	1	0.0430	1.7768	83.2799	16.7201
	2	0.0476	1.9669	92.1889	7.8111
	3	0.0572	2.3636	110.7816	- 10.7816
	Promedio		C_{F2} = 2.0358	95.4168	4.5832
Níquel	1	0.0411	1.6310	43.1275	56.8725

Metal	Filtrado	Absorbancia	[M] (ppm)	%X	%R
C ₀ = 3.7817 ppm	2	0.0486	1.9286	50.9975	49.0025
	3	0.0557	2.2103	58.4477	41.5523
	Promedio		C_{F2} = 1.9233	50.8576	49.1424

*La concentración se multiplica por el factor de dilución, que era 25.



VISIÓN

Ser una institución educativa líder en educación tecnológica a nivel nacional y regional, comprometida con la calidad, la empresarialidad y la pertinencia de nuestra oferta educativa.

MISIÓN

Formar profesionales integrales y competentes en áreas tecnológicas que tengan demanda y oportunidad en el mercado local, regional y mundial, tanto como trabajadores y como empresarios.

VALORES

EXCELENCIA: *Nuestro diario quehacer está fundamentado en hacer bien las cosas desde la primera vez.*

INTEGRIDAD: *Actuamos congruentemente con los principios de la verdad en todas las acciones que realizamos.*

ESPIRITUALIDAD: *Desarrollamos todas nuestras actividades en la filosofía de servicio, alegría, compromiso, confianza y respeto mutuo.*

COOPERACIÓN: *Actuamos basados en el buen trabajo en equipo, la buena disposición a ayudar a todas las personas.*

COMUNICACIÓN: *Respetamos las diferentes ideologías y opiniones, manteniendo y propiciando un acercamiento con todo el personal.*

SEDE Y REGIONALES EL SALVADOR



La Escuela Especializada en Ingeniería ITCA-FEPADE, fundada en 1969, es una institución estatal con administración privada, conformada actualmente por 5 campus: Sede Central Santa Tecla y cuatro Centros Regionales ubicados en Santa Ana, San Miguel, Zacatecoluca y La Unión.

1 SEDE CENTRAL SANTA TECLA

Km. 11.5 carretera a Santa Tecla, La libertad.

Tel.: (503) 2132-7400

Fax: (503) 2132-7599

2 CENTRO REGIONAL SANTA ANA

Final 10a. Av. Sur, Finca Procavia.

Tel.: (503) 2440-4348

Tel./Fax: (503) 2440-3183

3 CENTRO REGIONAL LA UNIÓN

Calle Sta. María, Col. Belén, atrás del Instituto Nacional de La Unión

Tel.: (503) 2668-4700

4 CENTRO REGIONAL ZACATECOLUCA

Km. 64.5, desvío Hacienda El Nilo sobre autopista a Zacatecoluca.

Tel.: (503) 2334-0763 y

(503) 2334-0768

5 CENTRO REGIONAL SAN MIGUEL

Km. 140 carretera a Santa Rosa de Lima.

Tel.: (503) 2669-2298

Fax: (503) 2669-0061