



**UNIVERSIDAD LAICA "ELOY ALFARO"  
DE MANABÍ**

Facultad de Ciencias Agropecuarias  
Carrera Ingeniería en Recursos Naturales y  
Ambientales

Trabajo de Titulación de Tercer Nivel  
Modalidad: Proyecto de Investigación

Tema:

**EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE  
BIOADSORCIÓN DE IONES CROMO (Cr) POR  
SUBPRODUCTOS AGRÍCOLAS PROCESADOS:  
PLÁTANO (*Musa paradisiaca*) Y CACAO  
(*Theobroma cacao L.*).**

ESTUDIANTES:

**KRISTHER KATHERINE ANCHUNDIA MACÍAS  
CARLOS MANUEL BARCIA GALLO**

TUTORA:

**Dra. DAYANARA M. MACÍAS MAYORGA PhD**

**MANTA, 2019**

## PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

“Evaluación de la capacidad de bioadsorción de iones cromo (Cr) por subproductos agrícolas procesados: plátano (*Musa paradisiaca*) y cacao (*Theobroma cacao L*)”.

Sometido a consideración del Honorable Consejo Directivo de la Facultad Ciencias Agropecuarias, como requisito para obtener el título de:

### INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES Y AMBIENTALES

---

Ing. Yessenia García Montes M. Sc  
**DECANA DE LA FACULTAD**

---

Dra. Dayanara Macías Mayorga  
**DIRECTORA DE TESIS**

### MIEMBROS DEL TRIBUNAL

---

Ing. Paulina Espinoza Zambrano M. Sc.  
**Presidente del Tribunal**

---

Ing. Juan Manuel Macías M. Sc.  
**Miembro del Tribunal**

---

Ing. Xavier Alonso Salcedo M. Sc.  
**Miembro del Tribunal**

## CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

**Dra. Dayanara Macías Mayorga**, Docente Titular Principal de la Facultad Ciencias Agropecuarias, certifico que la Srta Kristher Katherine Anchundia Macías realizó el Trabajo de Investigación titulado “**Evaluación de la capacidad de bioadsorción de iones cromo (Cr) por subproductos agrícolas procesados: plátano (*Musa paradisiaca*) y cacao (*Theobroma cacao L*)**”, bajo mi dirección y responsabilidad. El mismo ha sido desarrollado en el marco del proyecto institucional “*La ecotoxicología como herramienta de evaluación de la calidad ambiental*” previo a la obtención del título de Ingeniería en Recursos Naturales y Ambientales, de acuerdo a la modalidad de titulación Proyecto de Investigación de Tercer Nivel de la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí (ULEAM).

-----  
Dra. Dayanara Macías Mayorga PhD  
**Directora de Trabajo de Investigación**

## CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

**Dra. Dayanara Macías Mayorga**, Docente Titular Principal de la Facultad Ciencias Agropecuarias, certifico que el Sr. Carlos Manuel Barcia Gallo realizó el Trabajo de Investigación titulado “**Evaluación de la capacidad de bioadsorción de iones cromo (Cr) por subproductos agrícolas procesados: plátano (*Musa paradisiaca*) y cacao (*Theobroma cacao L*)**”, bajo mi dirección y responsabilidad. El mismo ha sido desarrollado en el marco del proyecto institucional “*La ecotoxicología como herramienta de evaluación de la calidad ambiental*” previo a la obtención del título de Ingeniería en Recursos Naturales y Ambientales, de acuerdo a la modalidad de titulación de Proyecto de Investigación de Tercer Nivel de la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí (ULEAM).

-----  
Dra. Dayanara Macías Mayorga  
**Directora de Trabajo de Investigación**

## DERECHOS DE AUTORÍA

Yo, **Kristher Katherine Anchundia Macías**, declaro bajo juramento que el trabajo de investigación aquí descrito es de mi autoría. El mismo fue realizado en el marco del proyecto institucional ***“La ecotoxicología como herramienta de evaluación de la calidad ambiental”*** ejecutado desde la Facultad Ciencias Agropecuarias de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, bajo la Dirección de Dayanara Macías Mayorga PhD. Este trabajo no ha sido presentado previamente para ningún grado o calificación profesional y se han consultado todas las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

-----  
**Kristher Katherine Anchundia Macías**

## DERECHOS DE AUTORÍA

Yo, **Carlos Manuel Barcia Gallo**, declaro bajo juramento que el trabajo de investigación aquí descrito es de mi autoría. El mismo fue realizado en el marco del proyecto institucional ***“La ecotoxicología como herramienta de evaluación de la calidad ambiental”*** ejecutado desde la Facultad Ciencias Agropecuarias de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, bajo la Dirección de Dayanara Macías Mayorga PhD. Este trabajo no ha sido presentado previamente para ningún grado o calificación profesional y se han consultado todas las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

---

**Carlos Manuel Barcia Gallo**

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar quiero dar gracias a Dios por haberme brindado salud en todo momento, por protegerme, ayudarme y darme fuerzas para superar obstáculos y dificultades a lo largo de toda mi vida.

Por supuesto gracias a mis padres por el ser el motor principal y mayor inspiración, por todo lo enseñado a lo largo de mi vida, por haberme inculcado buenos valores por su apoyo moral y económico y siempre darme la oportunidad de tener una excelente educación. A toda mi familia a mis amigos y allegados que sin duda aportaron en mi desarrollo dándome las mejores lecciones de vida.

Gracias a todas las personas que forman parte de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí por su atención y amabilidad en todo mi camino como estudiante, así como a los diferentes docentes que brindaron sus conocimientos, experiencias y apoyo e incentivaron a seguir adelante en mi trabajo de investigación.

A mi tutora Dra. Dayanara Macías Mayorga por todo su apoyo durante la realización de este trabajo, por su amabilidad y sabiduría que supieron orientarme teórica y metodológicamente de la manera correcta, gracias por haber brindado su tiempo, sus valiosas sugerencias y acertados aportes que llevaron a la realización de este excelente trabajo.

Finalmente a mis amigos que me acompañaron en este camino de aprendizaje y vivencias las cuales que tuve la suerte de compartir con ellos, gracias infinitamente a todos por las pláticas, risas y estar conmigo en las adversidades y sobre por ser incondicionales conmigo todos estos años.

*Kristher Katherine Anchundia Macías*

## AGRADECIMIENTO

Mis más sinceros agradecimientos para:

La Dra. Dayanara Macías Mayorga, mi tutora por su paciencia, apoyo y más que todo por compartir sus enseñanzas que fueron muy esenciales en cada momento para poder realizar esta investigación.

Al Ing. Marlon Castro y al Ing. Cesar por ayudarnos en una parte muy importante de nuestro trabajo y sobre todo la dedicación que nos dedicó día a día en el laboratorio.

A la Ing. Natasha quien día a día nos brindaba su ayuda para poder tener nuestras muestras en el congelador para que así estés estuvieran en buenas condiciones.

A los encargados del laboratorio de Química de la UTM de Portoviejo por permitirnos realizar nuestros análisis.

*Carlos Manuel Barcia Gallo*

## DEDICATORIA DEL ESTUDIANTE

Con mucho cariño dedico este trabajo a todas las personas que hicieron posible que lograra mi objetivo:

Principalmente a Dios, a mis padres Elba Macías y Sixto Anchundia por haberme apoyado en los momentos más difíciles en todo el camino a terminar mi carrera, siendo gracias a su ejemplo de superación y esfuerzo y toda la confianza que me brindaron lo cual fue necesario para realizarme profesionalmente.

A mis hermanos, amigos y demás familiares por sus palabras y compañía siempre, porque me han brindado su apoyo incondicional y por compartir conmigo buenos y malos momentos.

A todos ellos dedico mi esfuerzo y dedicación que contribuyeron para obtener el Título de Ingeniera en Recursos Naturales y Ambiente.

*Kristher Katherine Anchundia Macías*

## DEDICATORIA DEL ESTUDIANTE

La presente investigación va dirigida especialmente a Dios por brindarme salud y fuerzas para que esto lo pueda lograr y haberme dado el privilegio de haber conocido grandes personas en toda mi etapa universitaria; y a aquellas personas que de alguna manera u otra no dejaron que decaiga en algún momento de mi carrera y me alentaban a seguir adelante, a ser mejor día a día y a no desistir a pesar de los obstáculos.

A mi familia que tengo tanto que agradecer, mi abuelita María una mujer digna de admirar que siempre me alienta a ser mejor, a luchar y a no rendirme, la que se preocupaba por mi todos los días cuando yo llegaba tarde de clases, la que estaba ahí para darme algún remedio casero cuando enfermaba, siempre te admirare abuelita, soy tu mayor fan, mis hermanos Byron, Lorena en especial a mi hermana Gabriela Arias la cual ha tenido un papel muy importante en mi vida estudiantil para que yo pueda continuar adelante, no tengo como pagarte todo lo que has hecho por mi ñaña, a mis padres, mi madre la cual siempre hacia lo posible para que yo pudiera tener algo en mis bolsillos, tantos consejos de una mujer sabia que me hacen mejor persona y hacer ver lo duro que hay que trabajar porque la vida no es fácil, mi padre que se sacrifica en faena de pesca diariamente para yo sea alguien en la vida como siempre me lo dice; ellos son mis pilares fundamentales los cuales me apoyan en todas las decisiones que tome, son los mejores padres que Dios me pudo dar, este triunfo se lo dedico a ellos, sin ustedes esto no sería posible, los amo; a todos mis docentes que a lo largo de mi etapa como estudiante me brindaron grandes conocimientos y amar esta magnífica carrera, mi tutora de tesis la Dra. Dayanara Macías muchas gracias por todo, por estar ahí en cada etapa de este duro trabajo, por guiarnos y ayudarnos a salir delante de todos los obstáculos que se nos presentó, la admiro mucho como docente y como persona.

*Carlos Manuel Barcia Gallo*

## ÍNDICE GENERAL

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR .....	II
DERECHOS DE AUTORÍA.....	IV
AGRADECIMIENTO .....	VI
DEDICATORIA DEL ESTUDIANTE.....	VIII
ÍNDICE GENERAL.....	1
RESUMEN.....	3
SUMMARY .....	4
1. INTRODUCCIÓN .....	5
1.4 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN.....	8
1.5 HIPÓTESIS PLANTEADA .....	8
2. OBJETIVOS DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN .....	9
2.1. Objetivo General .....	9
2.2. Objetivos Específicos .....	9
3.1.1. Selección .....	10
3.1.2. Limpieza.....	10
3.1.3. Secado .....	10
3.1.4. Molienda.....	10
3.1.5. Reducción y clasificación por tamaños .....	10
3.2. MÉTODO B: PROCESADO DE LA HARINA A TRAVÉS DEL SECADO POR LIOFILIZACIÓN.....	10
3.2.2. Secado Primario .....	11
3.2.3. Secado Secundario .....	11
3.3. Evaluación de la capacidad de adsorción de la harina de plátano y cacao para la remoción de cromo. ....	12
3.3.1. Ensayos de bioadsorción .....	12
3.4. Procesamiento de datos .....	13
4. RESULTADOS.....	14
5. DISCUSIÓN .....	15
6. CONCLUSIONES .....	16.
7. RECOMENDACIONES.....	17
8. BIBLIOGRAFÍA.....	18
ANEXO I.....	20
Procesamiento de las harinas .....	20
ANEXO II .....	21

<b>Ensayo de bioadsorción</b> .....	21
<b>ANEXO III</b> .....	22
<b>Curva de calibración de Cr para el análisis de cromo total por espectrometría de absorción atómica</b> .....	22
<b>ANEXO IV</b> .....	23
<b>Análisis Estadístico</b> .....	23

## RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue evaluar la capacidad de bioadsorción de iones de cromo (Cr) por subproductos agrícolas procesados de cáscaras de plátano (*Musa paradisiaca*) y cacao (*Theobroma cacao L*). Las cáscaras de plátano y cacao fueron procesadas hasta convertirlas en harinas. En el secado de la harina dos métodos fueron utilizados por cada subproducto agrícola: el secado en estufa y el secado por liofilización. La solución de exposición a 100 mg/L de Cr fue preparada a partir del reactivo dicromato de potasio ( $K_2CrO_4$ ). Para determinar el porcentaje de remoción de cada harina 250 ml de la solución de Cr fueron colocados en un vaso de precipitación, a esto se adicionaron 2 g del sólidos absorbente (harina de plátano o cacao) y se mantuvo en agitación magnética durante 1 hora. Finalmente se determinó la concentración del metal presente en la fase líquida. Los resultados fueron expresados en g/L de Cr. Luego se calcularon las concentraciones de cromo retenidas por la harina de las cáscaras. Los resultados nos indican que no existen diferencias significativas en el porcentaje de remoción de Cr en la harina de plátano o cacao en función del método de secado utilizado. Por otra parte, tampoco existe diferencia significativa en la capacidad de remoción de Cr entre la harina de plátano o cacao. En ambos subproductos agrícolas el porcentaje de remoción no alcanzó un 30%.

**PALABRAS CLAVES:** Bioadsorción, Harina de cáscaras de plátano y cacao, Remoción, Cromo.

## SUMMARY

The objective of the present work was to evaluate the capacity of bioadsorption of chromium ions (Cr) by processed agricultural by-products of plantain (*Musa paradisiaca*) and cacao (*Theobroma cacao L*) shells. The banana and cocoa shells were processed into flour. In the drying of the flour, two methods were used for each agricultural by-product: drying in a stove and drying by lyophilization. The exposure solution at 100 mg / L of Cr was prepared from the reagent potassium dichromate (K<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub>) To determine the percentage of removal of each flour 250 ml of the Cr solution were placed in a beaker, This was added 2 g of the absorbent solids (banana or cocoa flour) and was maintained in magnetic stirring for 1 hour Finally, the concentration of the metal present in the liquid phase was determined, the results were expressed in g / L of Cr. the chromium concentrations retained by the husk meal were calculated, the results indicate that there are no significant differences in the percentage of Cr removal in the banana or cocoa flour depending on the drying method used. there is a significant difference in the ability to remove Cr from banana or cocoa flour, in both agricultural by-products the percentage of removal did not reach 30%.

KEYWORDS: Bioadsorption, Flour of banana and cocoa shells, Removal, Chromium.

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1 Marco teórico

En la actualidad una de las grandes preocupaciones de la sociedad es el cuidado y preservación del medio ambiente, con el fin remediar los daños que el hombre ha causado y evitar que este se siga deteriorando, ya que esto directa e indirectamente afecta la salud y el bienestar de los hombres y de los otros organismos (Domínguez 2015).

El cromo es un elemento químico, el sexto más abundante en la tierra se encuentra de forma natural en las plantas, rocas, suelos. Su símbolo es Cr, de número atómico 24 y su masa atómica es de 51.996, es de color blanco plateado, brillante y frágil, su principal uso es anticorrosivo debido a la gran dureza y su resistencia al calor. Su nombre se debe a los diversos colores que presentan sus compuestos.

Es un metal pesado ampliamente utilizado en diversos procesos industriales, tales como en la galvanoplastia, curtido de pieles, producción de cintas magnéticas, pigmentos, tintas, películas fotográficas, partes automotrices, equipo eléctrico y electrónico, entre otros. Los grandes volúmenes de residuos que generan estas industrias y su manejo inadecuado han provocado la contaminación del aire, agua y suelo con este metal. (Netzahuatl, et al. 2010).

El cromo existe en nueve estados de oxidación, el cero, el trivalente y el hexavalente son los estados más importantes en el medio ambiente y los productos comerciales. Aunque la mayoría de los efectos nocivos sobre la salud de los seres humanos se deben a la forma hexavalente, la cual es altamente tóxica, mutagénica, carcinogénica y teratogénica. (Pineda, et al. 2011).

Experimenta diversas reacciones químicas cuando está en contacto con el medio ambiente, principalmente de oxidación-reducción, precipitación-disolución y adsorción-desorción. La solubilidad del cromo trivalente en el agua o lodos es limitada debido a la formación de óxidos hidróxidos y fosfatos por eso tiene la capacidad de absorberse en superficies.

El aumento en el desarrollo de las actividades industriales en el mundo ha derivado un problema ambiental asociado a sus efluentes residuales. Uno de los grupos de contaminantes contenidos en estos y que ha captado en mayor medida la atención de la comunidad ambiental son los metales pesados.

Los metales pesados son potencialmente devastadores para el ambiente ya que contaminan el aire, el agua y la tierra, utilizados por las plantas y los demás eslabones de las cadenas tróficas, incluso para el ser humano en el cual se producen enfermedades letales por este tipo de contaminación. Entre los metales de mayor impacto al ambiente por su alta toxicidad y difícil eliminación se encuentran el cromo, níquel, cadmio, plomo y mercurio. (Tejada, 2015).

## **1.2 Planteamiento del problema**

En nuestra ciudad el aumento de la contaminación ha sido alarmante en la última década, debido a la presencia de varios efluentes de actividades industriales y domésticas las cuales desembocan al mar, afectando no solo visualmente sino la calidad de las aguas y la vida marina que en ella habita.

La contaminación del agua es, según la Ley ecuatoriana, “la acción y el efecto de introducir materias o formas de energía o introducir condiciones en el agua que, de modo directo o indirecto, implique una alteración perjudicial de su calidad en relación con los usos posteriores o con su función ecológica” (SENAGUA, 2008).

Los iones de cromo no pueden ser degradados química ni biológicamente, por lo tanto, su presencia en los cuerpos de agua implica que con algunos procesos naturales estén biodisponibles, generando efectos de biomagnificación en los seres vivos; ocasionando diversos efectos negativos para el ecosistema y la salud humana. Al introducir Cr (VI) en el organismo de los seres humanos, se generan erupciones cutáneas, malestar de estómago y úlceras, problemas respiratorios, debilitamiento del sistema inmune, daño en los riñones e hígado, alteración del material genético, cáncer de pulmón e incluso la muerte. (Garzón, et al. 2012).

La bioadsorción es un proceso por el cual átomos, iones o moléculas de gases, líquidos o sólidos disueltos son atrapados o retenidos en una superficie de una biomasa.

Es por ello, que la bioadsorción al ser un proceso que permite la captación activa o pasiva de iones metálicos, debido a la propiedad que poseen diversas biomosas vivas o muertas para enlazar y acumular este tipo de contaminantes por diferentes mecanismos, se convierte en una opción importante para la remediación de las aguas contaminadas.

La remoción de cromo de las aguas por bioadsorbentes consta de dos pasos principales: las especies de Cr (VI) se remueven por adsorción sobre la superficie del adsorbente y la forma hexavalente se reduce a la trivalente y se adsorbe en la superficie externa. Los principales factores que influyen en la adsorción de este metal son: pH, grado de agitación, cantidad de adsorbente, concentración inicial de cromo, temperatura, tamaño de partícula y naturaleza del adsorbente (Shafique, et al., 2011).

### **1.3 Justificación**

La absorción de iones de cromo mediante la utilización de harinas obtenidas a partir de subproductos agrícolas a los cuales no se les da ningún uso. Una vez extraída la pulpa sus cáscaras generadas por macro y microempresas son desechadas ocasionando un incremento de desechos orgánicos en el ambiente, la posibilidad de que estos desechos pueda ser utilizados como buena práctica ambiental. La aplicación de materiales de bajo costo obtenidos a partir de diferentes biomásas, en nuestro caso cáscara de plátano y cacao puede ser de mucha utilidad para reemplazar el uso de métodos convencionales en la remoción de contaminantes, tales como los metales pesados.

### **1.4 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN**

¿La harina de subproductos agrícolas como plátano y cacao pueden ser utilizadas como bioadsorbentes de iones de cromo presentes en muestras de agua?

### **1.5 HIPÓTESIS PLANTEADA**

La harina de plátano (*Musa paradisiaca*) y cacao (*Theobroma cacao L*) si tienen la capacidad de adsorber iones de cromo.

## **2. OBJETIVOS DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN**

### **2.1. Objetivo General**

Evaluar la capacidad de bioadsorción de iones de cromo (Cr) por subproductos agrícolas procesados de cáscaras de plátano (*Musa paradisiaca*) y cacao (*Theobroma cacao L*).

### **2.2. Objetivos Específicos**

- Elaborar harinas a partir de subproductos agrícolas de plátano y cacao, mediante la utilización de dos métodos de secados (estufa y liofilización)
- Realizar ensayos de bioadsorción con harina de plátano procesada mediante el método de secado en estufa, y secado en liofilizador
- Realizar ensayos de bioadsorción con harina de cacao procesada mediante el método de secado en estufa, y secado en liofilizador
- Comparar si existen diferencias en la eficiencia del proceso de bioadsorción de iones de cromo por la harina de plátano y cacao, en relación a los dos métodos de secado utilizados.

### 3. METODOLOGÍA

#### 3.1. MÉTODO A: PROCESADO DE LA HARINA A TRAVÉS DEL SECADO EN ESTUFA.

Las cáscaras de plátano y cacao, fueron colectadas para luego ser procesadas en las etapas que se describen a continuación:

**3.1.1. Selección:** Se tomaron las cáscaras en óptimo estado de madurez para evitar su pronta descomposición y garantizar una operación de secado del material en condiciones adecuadas. Se recolectó una muestra inicial de 20 libras de cáscara de plátano y 20 libras de cáscara cacao para elaborar la harina.

Las cáscaras fueron troceadas manualmente en pequeños trozos de aproximadamente 0,5 cm de superficie, esto con el fin de facilitar su manipulación en las etapas posteriores.

**3.1.2. Limpieza:** Los trozos de cáscaras de plátano y cacao fueron lavados con abundante agua destilada con el fin de eliminar impurezas y compuestos solubles tales como: taninos, látex, azúcar- reductora y residuos de pulpa.

**3.1.3. Secado:** Los trozos de cáscaras de plátano y cacao fueron secados en una estufa a 105 °C, durante 48 horas.

**3.1.4. Molienda:** Las cáscaras secas fueron molidas por separado a través de un molino manual, con el fin de obtener polvos homogéneos para reducir el tamaño del material.

**3.1.5. Reducción y clasificación por tamaños:** Se tamizó cada harina hasta obtener un tamaño de partícula de  $\pm 250 \mu\text{m}$ .

#### 3.2. MÉTODO B: PROCESADO DE LA HARINA A TRAVÉS DEL SECADO POR LIOFILIZACIÓN.

En este método las cáscaras de plátano y cacao fueron seleccionadas y limpiadas igual que en el método A.

### **3.2.1. Congelación**

Para iniciar con el proceso de liofilizado, fue necesario congelar los trozos de las cáscaras de plátano o cacao. Fue importante que la estructura de la materia permaneciera sin cambio por lo que fue importante una congelación rápida a temperaturas menores a  $-20^{\circ}\text{C}$ .

### **3.2.2. Secado Primario**

Se transmitió la energía necesaria para lograr transformar el hielo en vapor de agua en condiciones de baja presión. El vapor de agua que se formó se removió de la superficie del producto mediante sublimación, desde la cámara de secado hacia el sistema de condensación.

### **3.2.3. Secado Secundario**

En esta etapa se transmitió la energía para remover el agua residual adsorbida (ligada, incongelable) en los sólidos, la cual no se separó como hielo durante la congelación y tampoco se sublimó.

Una vez secas las cáscaras estas fueron sometidas a molienda para obtener la harina, como en el Método A.

### 3.3. Evaluación de la capacidad de adsorción de la harina de plátano y cacao para la remoción de cromo.

#### 3.3.1. Ensayos de bioadsorción

Para evaluar la capacidad de adsorción de la harina de plátano y cacao se realizó un ensayo de bioadsorción con cromo. La concentración de utilizada fue de 100 mg/L Cr. La solución de Cr fue preparada a partir de una solución stock de cromato de potasio ( $K_2CrO_4$ ). Donde 0.036 gr de cromato de potasio fue disuelto en 1 L de agua destilada.

En un vaso de precipitación se colocaron 250 ml la solución de cromo más 2 g del sólido adsorbente (harina de plátano o cacao). La mezcla se homogenizó mediante agitación magnética, durante una hora. Cada harina fue testada con 5 réplicas por cada uno de los métodos de secado mencionados anteriormente. (Tabla. 1)

**Tabla 1. Representación del ensayo de bioadsorción de Cr con harina de plátano y harina de cacao**

	<b>Método A (Secado en estufa)</b>	<b>Método B (Secado por liofilización)</b>
	<b>100 mg/L de Cr</b>	
<b>Harina de plátano</b>	R1	R1
	R2	R2
	R3	R3
	R4	R4
	R5	R5
<b>Harina de Cacao</b>	R1	R1
	R2	R2
	R3	R3
	R4	R4
	R5	R5

R = Réplicas

### 3.4. Procesamiento de datos

Finalizado los ensayos de bioadsorción, se determinó la concentración del metal (Cr) presente en la fase líquida, a través de la técnica de espectrometría de absorción atómica. Los resultados fueron expresados en mg/L de Cr. Luego se calculó el porcentaje de remoción haciendo uso de la siguiente fórmula:

$$E = \frac{(S_0 - S)}{S_0} \times 100$$

**Dónde:**

**E** = Eficiencia de remoción

**S<sub>0</sub>** = Valor inicial del cromo en la solución.

**S** = Valor final del cromo en la solución

Por otra parte, un ANOVA seguido de un test de Tukey fue aplicado para determinar si hay diferencias significativas entre los tratamientos. La normalidad de los datos fue verificada mediante el test de Kolmogorov-Smirnov. Todo el procesamiento estadístico se realizó con el programa Instad Pad Graphic.

## 4. RESULTADOS

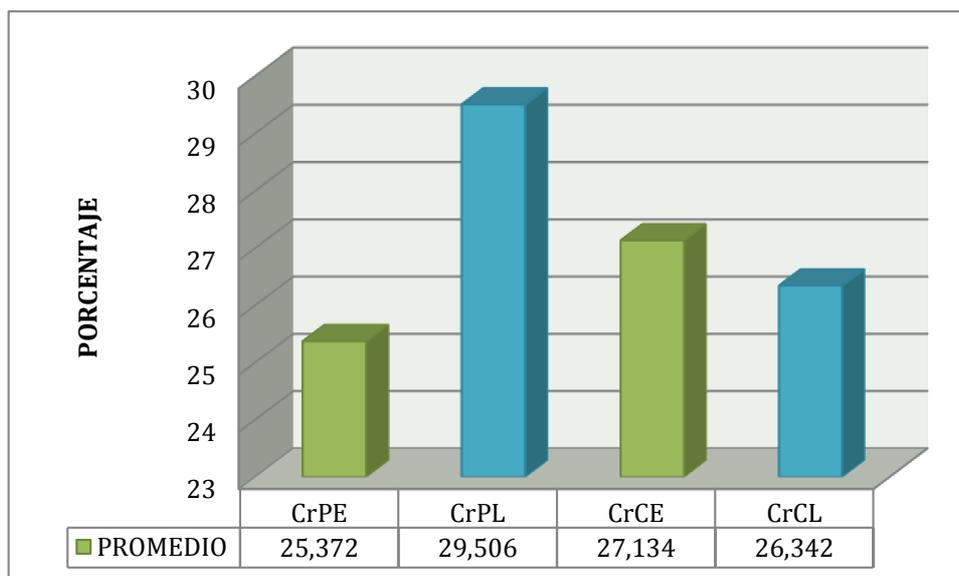


Fig. 1 Porcentaje de remoción de Cr por: harina de plátano secada en estufa (CrPE); harina de plátano secada por liofilización (CrPL); harina de cacao secada en estufa (CrCE); Harina de cacao secada por liofilización (CrCL).

En la figura 1 se puede observar que tanto la harina de plátano como la de cacao tienen similar capacidad de remover parte del Cr presente en el medio, aunque esta capacidad de remoción es menor al 30% en ambos casos. Por otra parte, aunque la harina de plátano secada por liofilización presenta un mayor porcentaje de remoción esta diferencia no es significativa. Lo que nos indica que el método de secado de la harina no influyó en la capacidad de remoción de la misma.

## 5. DISCUSIÓN

La harina de plátano y cacao secadas por los métodos de estufa o liofilización tienen la capacidad de remover iones de cromo presentes en el medio. Sin embargo en ningún caso esta remoción superó el 30%. Otros estudios realizados con cáscara de plátano demostraron que este subproducto agrícola tuvo una capacidad de remoción de cromo del 62%. Esta diferencia con nuestro estudio puede deberse a que en el ensayo realizado por Rodríguez, 2017, el experimento se realizó en condiciones de pH de 3 y temperatura de 20°C. Ya que un aumento elevado de la temperatura puede causar un cambio en la textura del adsorbente y un deterioro del material que desembocan en una pérdida de capacidad de adsorción.

Otros estudios han evaluado la capacidad de remoción de Cr en otros subproductos agrícolas como la naranja obteniendo un porcentaje alto de remoción de este metal (65.9%) (Tejada C et al 2015a). Por otra parte, un estudio que se realizó en México en bioadsorción de cromo utilizando mamey se concluyó que el mismo tuvo un gran porcentaje de remoción con un 95% de efectividad in situ (Ismael A. et al 2012).

Esto sugiere que la capacidad de remoción puede darse en función del subproducto agrícola utilizado y no necesariamente del método de secado de la harina. También existe la posibilidad de que la capacidad de absorción por parte de subproductos agrícolas pueda estar relacionada con la afinidad hacia un metal en particular (Cardoña et al, 2013). O La cantidad del bioadsorbente que es el factor que va a limitar hasta cierto punto la concentración de metal que se adsorbe, es decir a mayor cantidad de bioadsorbente, obtendremos una mayor bioadsorción, pero lo ideal es llegar a una relación de equilibrio, entre la cantidad de bioadsorbente y la concentración de metal, para un óptimo resultado de adsorción (Ríos E, 2014).

Otros estudios han determinado la capacidad de remoción de otros subproductos agrícolas (cáscaras de tamarindo, naranja, manzana y cebada) como bioadsorbente de distintos metales (Tejada et al 2015 b).

## 6. CONCLUSIONES

1. Se obtuvo harina a partir de las cáscaras de plátano (*Musa paradisiaca*) y cacao (*Theobroma cacao L*) a través del secado en estufa y liofilización.
2. Se realizaron ensayos de bioadsorción utilizando la harina de plátano elaborada mediante método de secado en estufa y liofilización.
3. Se utilizó la harina de cacao procesada a través del método de secado en estufa y liofilización para el montaje de ensayos de bioadsorción.
4. Los métodos de secado de la harina de plátano y cacao no influyen en la capacidad de bioadsorción de estos subproductos agrícolas.
5. La harina de plátano (*Musa paradisiaca*) y cacao (*Theobroma cacao L*) pueden ser utilizadas como bioabsorbentes de iones de cromo.
6. La utilización de subproductos agrícolas para la absorción de metales puede ser una alternativa beneficiosa para implementar en Manabí. Esta zona al ser principalmente agrícola genera muchos subproductos que hasta ahora no se les da ninguna utilidad.

## **7. RECOMENDACIONES**

1. Se recomienda comprobar la capacidad de remoción de iones metálicos en otros subproductos agrícolas que puedan ser utilizados como bioabsorbentes.
2. Se recomienda utilizar distintos tamaños de partículas para comprobar si la capacidad de absorción de una harina varía en función del tamaño de la partícula.
3. Realizar un estudio para determinar la factibilidad del uso de la harina de plátano o cacao en el tratamiento de aguas que contengan cromo, tomando en cuenta las rentabilidades económicas, sociales y ambientales.

## 8. BIBLIOGRAFÍA.

1. Cardona, A., Cabañas, D., Zepeda, A. 2013. Evaluación del poder biosorbente de cáscara de naranja para la eliminación de metales pesados, Pb (II) y Zn (II). Ingeniería. Vol.17 (1). 1-9
2. Castro, B. 2015. Uso de la cáscara de banano (*Musa paradisiaca*) maduro deshidratada (seca) como proceso de bioadsorción para la retención de metales pesados, plomo y cromo en aguas contaminadas (en línea). Tesis Dr. Guayaquil, Ecuador. Universidad de Guayaquil. 128 p.
3. Domínguez, M. 2015. La contaminación ambiental, un tema con compromiso social (en línea). Disponible en [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1909-04552015000100001](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-04552015000100001)
4. Garzón, J. Gonzalez. L. 2012. Adsorción de Cr (vi) utilizando carbón activado a partir de cáscara de naranja (en línea). Tesis Ing. Colombia, Universidad de Cartagena. 100 p.
5. Pinzón, M., Vera, L. 2009. Modelamiento de la cinética de bioadsorción de Cr (III) usando cáscara de naranja. Dyna Vol. 160. 95-106
6. Ríos, P. 2014. Cinética de bioadsorción de arsénico utilizando cáscara de banano maduro en polvo (en línea). Tesis Ing. Machala, Ecuador, Universidad técnica de Machala. 107 p.
7. Tejada, C. Herrera, A. Núñez, J. 2016. Remoción de plomo por biomasa residual de cáscara de naranja (*Citrus sinensis*) y zuro de maíz (*Zea mays*). Revista U.D.C.A Actualidad y Divulgación Científica. Vol 19 (1). 169-178
8. Tejada, C. Quiñones, E. Tejada, L. Marimón, W. 2015. Absorción de Cromo Hexavalente en soluciones acuosas por cascara de naranja (*Citrus sinensis*). Revista Producción + Limpia. Vol. 10. pp 9-21

9. Tejada, C. Villabona-Ortíz, A., Garcés-Jaraba, L. 2015. Adsorción de metales pesados en aguas residuales usando materiales de origen biológico. *Tecnológicas*. Vol. 18. No. 34, pp. 109-123
10. Tejada, L. Tejada, C. Marimón, W. Villabona, A. 2014. Estudio de modificación química y física de biomasa (*Citrus sinensis* y *Musa paradisiaca*) para la adsorción de metales pesados en solución. *Luna azul*. Vol. 39: 124-142
11. Gómez, N. Jiménez, M. 2014. Métodos de secado de emulsiones alimentarias. Programa de Maestría en Ciencia de alimentos. No. 11, pp.
12. SENAGUA. (2008). La Ley de Aguas. Codificación de la ley de aguas número 2 del Art. 139.
13. Khattri, S.D. & Singh, M.K. (2009). Removal of malachite green from dye waste water using neem sawdust by adsorption. *J Hazard Mater.* 167, 1089–1094.
14. Farooq, U., Kosinsky, J., Khan, M. & Athar, M. (2010). Biosorption of heavy metals using wheat based biosorbents – A review of the recent literature. *Bioresource Technology*, 101, 5043-5053. doi: 10.1016/j.biortech.2010.02.030
15. Shafique, U., Anwar, J. & Anzano, J. (2011). Treatment of chromium polluted water through biosorption, an environment friendly approach. Chapter 9. *Chromium: Environmental, Medical and Materials Studies* ISBN: 978-1-61122-656-0. Editor: Margaret P. Salden. Nova Science Publishers, Inc. Recuperado de <http://web.a.ebscohost.com/ehost/ebookviewer/ebook/bmxlYmtfXzQzOTU5OV9fQU41?sid=20f15589-2a84-421a-baf5-49a4ce637ddb@sessionmgr4004&vid=4&format=EB&rid=10>
16. Francisco Castillo R., María Dolores R., Rafael B., María José H., Francisco J. Caballero, Conrado Moreno-Vivián, Manuel Martínez Luque (2005). *Biotechnología Ambiental*. Editorial Tébar. S.I. No 542, pp

## ANEXO I

### Procesamiento de las harinas



1. Recoleccion y limpieza de cascaras de plátano y cacao



2. Secado en estufa y liofilizador de cascaras de plátano y cacao

## ANEXO II

### Ensayo de bioadsorción



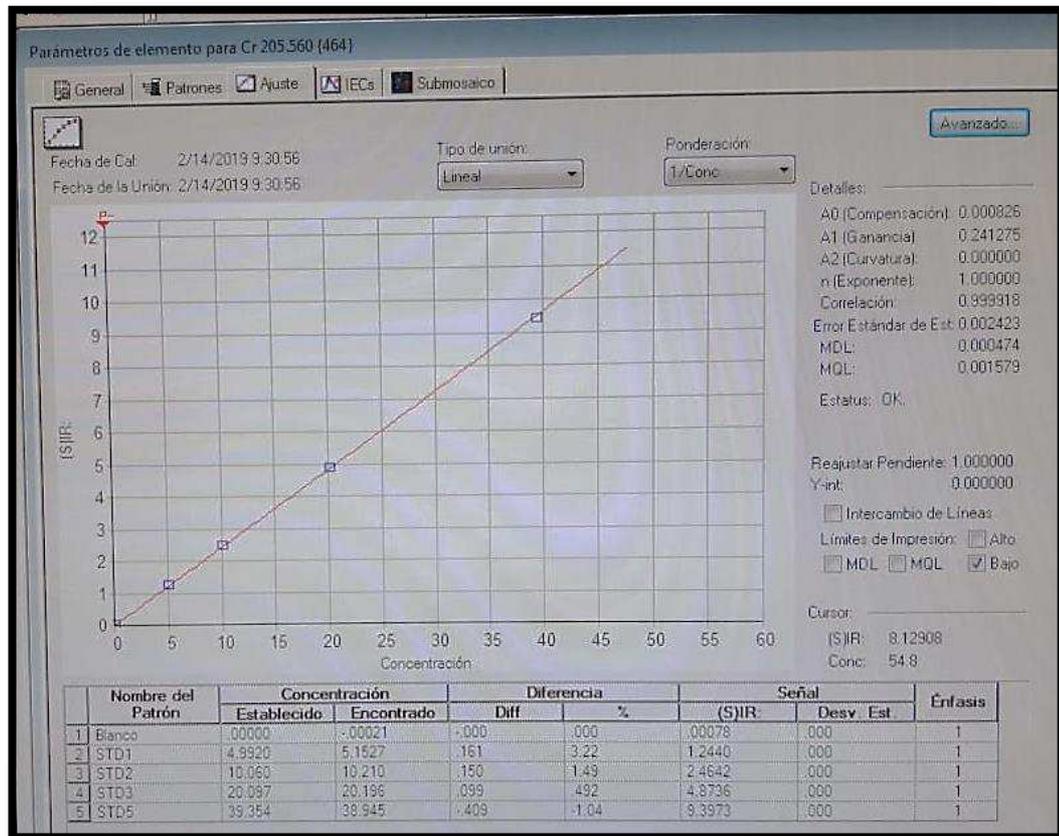
3. Preparación de las soluciones de cromo



4. Ensayos de Bioadsorción y filtrado de muestras

## ANEXO III

### Curva de calibración de Cr para el análisis de cromo total por espectrometría de absorción atómica



1. Curva de calibración de Cr

**ANEXO IV**  
**Análisis Estadístico**

One-way Analysis of Variance (ANOVA)

The P value is 0.9206, considered not significant.  
Variation among column means is not significantly greater than expected  
by chance.

Post tests

Post tests were not calculated because the P value was greater  
than 0.05.

Assumption test: Are the standard deviations of the groups equal?

ANOVA assumes that the data are sampled from populations with identical  
SDs. This assumption is tested using the method of Bartlett.

Bartlett statistic (corrected) = 8.521

The P value is 0.0364.

Bartlett's test suggests that the differences among the SDs is  
significant.

Since ANOVA assumes populations with equal SDs, you should consider  
transforming your data (reciprocal or log) or selecting a  
nonparametric test.

Assumption test: Are the data sampled from Gaussian distributions?

ANOVA assumes that the data are sampled from populations that follow  
Gaussian distributions. This assumption is tested using the method  
Kolmogorov and Smirnov:

Group	KS	P Value	Passed normality test?
=====	=====	=====	=====
PE	0.1572	>0.10	Yes

PL 0.1622 >0.10 Yes  
 CE 0.2227 >0.10 Yes  
 CL 0.3413 >0.10 Yes

Intermediate calculations. ANOVA table

Source of variation	Degrees of freedom	Sum of squares	Mean square
Treatments (between columns)	3	46.750	15.583
Residuals (within columns)	16	1542.2	96.385
Total	19	1588.9	

$F = 0.1617 = (MS_{\text{treatment}}/MS_{\text{residual}})$

Summary of Data

Group	Points	Number of Mean	Standard Deviation	Standard Error of Mean	Median
PE	5	25.372	8.651	3.869	26.420
PL	5	29.506	2.209	0.9878	29.680
CE	5	27.134	11.095	4.962	24.840
CL	5	26.342	13.517	6.045	17.590

95% Confidence Interval

Group	Minimum	Maximum	From	To
PE	14.580	36.500	14.632	36.112
PL	26.850	32.460	26.764	32.248
CE	16.810	41.130	13.359	40.909
CL	14.900	42.430	9.561	43.123

\* \* \*