



**ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**ESCUELA DE CIENCIAS QUIMICAS**

**“DEFINIR UNA TÉCNICA PARA LA REDUCCIÓN DE CROMO  
HEXAVALANTE EN SOLUCIÓN ACUOSA MEDIANTE LA  
UTILIZACIÓN DE *Musa cavendishii* (CÁSCARA DE PLÁTANO)”**

Trabajo de titulación presentado para optar al grado académico de:  
**INGENIERA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL**

**AUTOR: CARRIÓN SALAZAR BLANCA ELIZABETH**

**TUTOR: DR. ROBERT ALCÍDES CAZAR RAMÍREZ**

Riobamba – Ecuador

2016

**©2016, Blanca Elizabeth Carrión Salazar**

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS**

El tribunal certifica que: El trabajo de titulación “DEFINIR UNA TÉCNICA PARA LA REDUCCION DE CROMO HEXAVALANTE EN SOLUCIÓN ACUOSA MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE *Musa cavendishii* (CÁSCARA DE PLÁTANO)” de responsabilidad de las señorita: Blanca Elizabeth Carrión Salazar, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de titulación, quedando autorizada su presentación.

DR. ROBERT ALCÍDES CAZAR RAMÍREZ

**DIRECTOR DEL TRABAJO DE**

**TITULACIÓN**

\_\_\_\_\_

DRA. CUMANDÁ LOURDES CARRERA BELTRAN

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

\_\_\_\_\_

## **DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD**

Yo, Blanca Elizabeth Carrón Salazar, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autora, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

Riobamba, 18 de agosto del 2016

---

Blanca Elizabeth Carrión Salazar

0604110908

Yo, Blanca Elizabeth Carrón Salazar, soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este Proyecto de Titulación y el patrimonio intelectual del Trabajo de titulación, pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

BLANCA ELIZABETH CARRIÓN SALAZAR

## **DEDICATORIA**

El apoyo incondicional de mis seres queridos con su amor y consejo hicieron este camino más fácil y emocionante. Por ello, quiero dedicar este trabajo primero a Dios por ser mi guía, sustento protector, a mis padres, mis abuelitos, hermanos, y en especial a mi hijo, quienes con su alegría, carisma y sencillez han tallado en mi los mejores momentos de mi vida y de mi formación siendo mi mayor motivación para seguir cumpliendo mis metas.

Blanca Carrión

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios, por la vida y las enseñanzas durante mi etapa universitaria.

A mi familia, por el apoyo total en cada decisión.

A la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo y en ella cada uno de los docentes que hicieron posible esta investigación.

Al Dr. Robert Cazar, por su profunda ayuda y colaboración, la paciencia y entrega al descubrimiento de nuevas soluciones científicas en beneficio del ser humano, sobre todo por siempre creer en mí, nunca olvidare sus enseñanzas.

A la Ing. Juan Carlos Gonzales por su guía en la elaboración de este trabajo de investigación, su condicional apoyo y su inigualable dedicación para enseñar.

Gracias a todos aquellos amigos y compañeros que siempre me alentaron en mi trabajo y fueron una luz en este camino.

"La gratitud es una flor que brota del alma y perdura en el corazón"

Blanca Carrión

# INDICE GENERAL

<b>PORTADA</b>	<b>I</b>
<b>COPYRAISE</b>	<b>II</b>
<b>CERTIFICACION</b>	<b>III</b>
<b>DECLARACION DE AUTENTICIDAD</b>	<b>IV</b>
<b>RESPONSABILIDAD COMPARTIDA</b>	<b>V</b>
<b>DEDICATORIA</b>	<b>VI</b>
<b>AGRADECIMIENTO</b>	<b>VII</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b>	<b>XI</b>
<b>ÍNDICE DE ILUSTRACIONES</b>	<b>XI</b>
<b>ÍNDICE ANEXOS</b>	<b>XII</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>XIII</b>
<b>SUMMARY</b>	<b>XIV</b>

## **CAPITULO I**

1.	INTRODUCCION.....	1
1.1.	<i>Identificación del problema.....</i>	<i>1</i>
1.2.	<i>Justificación de la investigación.....</i>	<i>2</i>
1.3.	<i>Objetivos.....</i>	<i>3</i>
1.3.1.	<i>Objetivo General .....</i>	<i>3</i>
1.3.2.	<i>Objetivos Específicos.....</i>	<i>3</i>

## **CAPITULO II**

2.	<i>MARCO TEÓRICO.....</i>	<i>4</i>
2.1.	<i>Antecedentes de la investigación.....</i>	<i>4</i>
2.2.	<i>Marco conceptual.....</i>	<i>5</i>
2.2.1.	<i>Residuos sólidos orgánicos.....</i>	<i>5</i>
2.2.1.1.	<i>Características.....</i>	<i>6</i>
2.2.2.	<i>Biomasa .....</i>	<i>6</i>
2.2.2.1.	<i>Clasificación.....</i>	<i>6</i>

2.2.3.	<i>Metales pesados</i> .....	7
2.2.3.1.	<i>Clasificación</i> .....	7
2.2.3.2.	<i>Usos</i> .....	9
2.2.3.3.	<i>Efectos</i> .....	9
2.2.3.4.	<i>Técnicas de remoción de metales pesados tóxicos en efluente</i> .....	10
2.2.4.	<i>Cromo</i> .....	11
2.2.4.1.	<i>Propiedades</i> .....	12
2.2.5.	<i>Cromo hexavalente</i> .....	14
2.2.5.1.	<i>Características</i> .....	14
2.2.5.2.	<i>Aplicaciones</i> .....	14
2.2.5.3.	<i>Efectos</i> .....	15
2.2.5.4.	<i>Exposición</i> .....	15
2.2.6.	<i>Legislación ambiental en el Ecuador</i> .....	17
2.2.6.1.	<i>Marco legal de cromo hexavalente</i> .....	17
2.2.7.	<i>Musa Cavendishii</i> .....	19
2.2.7.1.	<i>Características</i> .....	20
2.2.7.2.	<i>Composición</i> .....	21
2.2.8.	<i>Marco de definiciones</i> .....	22

### **CAPITULO III**

3.	<b>RESULTADOS, ANÁLISIS Y DISCUSIÓN</b> .....	23
3.1.1.	<i>Resultados</i> .....	23
3.1.1.1.	<i>Biomasa</i> .....	23
3.1.1.2.	<i>Cromo hexavalente</i> .....	24
3.1.1.3.	<i>Cromo hexavalente con Musa cavendishii</i> .....	25
3.1.2.	<i>Análisis</i> .....	31
3.1.2.1.	<i>Cálculo del efecto del pH</i> .....	31
3.1.2.2.	<i>Cálculo del efecto de la temperatura</i> .....	32
3.1.2.3.	<i>Cálculo del efecto del tiempo</i> .....	32
3.1.2.4.	<i>Cálculo del efecto de la biomasa</i> .....	33
3.1.3.	<i>Discusión</i> .....	33
	<b>CONCLUSIONES</b> .....	37
	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	38

### **BIBLIOGRAFIA**

### **ANEXOS**

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-1</b>	Nutrientes <i>Musa cavendishii</i> .....	2
<b>Tabla 2-1</b>	Capacidad de adsorción de diferentes biomosas .....	4
<b>Tabla 3-2</b>	Capacidad de adsorción de diferentes biomosas .....	8
<b>Tabla 4-2</b>	Metales pesados utilizados en industrias.....	9
<b>Tabla 5-2</b>	Efecto de los metales pesados utilizados en industrias .....	10
<b>Tabla 6-2</b>	Propiedades Físico-Químicas Del Cromo .....	12
<b>Tabla 7-2</b>	Límites de Descarga del cromo hexavalente.....	18
<b>Tabla 8-2</b>	Límites de descarga del cromo hexavalente.....	21
<b>Tabla 9-3</b>	Absorbancia cromo hexavalente a temperatura media con 2.5 g de biomasa .....	25
<b>Tabla 10-3</b>	Absorbancia cromo hexavalente a temperatura alta con 2.5 g de biomasa .....	27
<b>Tabla 11-3</b>	Absorbancia cromo hexavalente a temperatura media con 5 g de biomasa .....	28
<b>Tabla 12-3</b>	Absorbancia cromo hexavalente a temperatura alta con 5 g de biomasa .....	29
<b>Tabla 13-3</b>	Valores finales estudio de absorbancia .....	30
<b>Tabla 14-4</b>	Resultados para la remoción de cromo hexavalente.....	36

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<i>Ilustración 1-2</i>	Ciclo ambiental del cromo.....	13
<i>Ilustración 2-2</i>	Pirámide Kelseniana - Jerarquía Legislación Ambiental en el Ecuador.....	17
<i>Ilustración 3-3</i>	Lavado y secado de Musa cavendishii.....	23
<i>Ilustración 4-3</i>	Solución de Cr VI con Musa cavendishii a diferentes pH, T° y 60 min.....	34
<i>Ilustración 5-3</i>	Cambio de color de las soluciones acuosas ante la reducción del cromo ....	34
<i>Ilustración 6-3</i>	Resultados de la absorción de Cr VI con 2.5 g de Musa cavendishii .....	35
<i>Ilustración 7-4</i>	Resultados de la absorción de Cr VI con 5 g de Musa cavendishii .....	36

## ÍNDICE ANEXOS

- Anexo A.** Determinación de longitud de onda (Método Difenilcarbazida)
- Anexo B.** Musa Cavendishii (cáscara de plátano)
- Anexo C.** Lavado de la Musa Cavendishii (cáscara de plátano)
- Anexo D.** Soluciones para la curva de calibración
- Anexo E.** Determinación de la longitud de onda
- Anexo F.** Soluciones de cromo VI a los 180 min en contacto con Musa cavendishii

## RESUMEN

En la presente investigación, se definió una técnica para la remoción de Cromo hexavalente en solución acuosa con *Musa cavendishii* (cascara de plátano), en los laboratorios de la Facultad de Ciencias en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, para lo cual se necesitó como factores técnicos, dos Erlenmeyer de 1000 ml, cuatro vasos de precipitación de 250 ml, pipetas, balanza, agitador constante, espectrofotómetro UV-visible y como factores principales; *Musa cavendishii* y cromo hexavalente, en donde se analizó la capacidad de absorción que presenta la biomasa para remover cromo hexavalente, la cual se sometió a un lavado con agua tridesionizada y agitación constante por 72 horas para posteriormente trasladar a la estufa bacteriológica en donde se la seco por 24 horas a 120 °C, posteriormente en los cuatro matraces que contenía la solución acuosa de Cromo hexavalente a diferentes pH, ajustando las condiciones con ácido nítrico (HNO<sub>3</sub>) para pH ácido e hidróxido de sodio (Na(OH)) para pH básico, se le agrego en los dos primeros matraces una concentración de 2,5 g de biomasa y en los dos restantes una concentración de 5g de biomasa, los cuales se les almaceno en dos estufas bacteriológicas a diferentes temperaturas ( 28 °C y 60°C) las cuales se les analizo a diferentes tiempos (0min, 60min, 120min, 180min) para determinar la concentración del metal en estudio por el método de la Difenilcarbazida. Obteniendo el mejor resultado de remoción metal en las condiciones de; 180 min, a pH ácido (1.0) y 28°C con un valor de 5 g de biomasa. Concluyendo que la biomasa de estudio (*Musa cavendishii*) presentó gran capacidad de remoción para el Cromo hexavalente, por lo que recomiendo la aplicación de esta técnica económica, fácil, eficiente al alcance de pequeñas y grandes empresas de curtiembre de cueros, galvanizado, productores de productos químicos, fabricación de cromados, entre otras, para remover el cromo hexavalente de las aguas residuales antes de su descarga final en las fuentes hídricas naturales (ríos) más cercanos a su ubicación.

**PALABRAS CLAVE:** <REMOCION DE CROMO HEXAVALENTE> <ESPOCH>  
<CÁSCARA DE PLÁTANO [*MUSA CAVENDISHII*]> <BIOMASA> <CAPACIDAD DE  
ABSORCION> <METALES PESADOS> <CROMO> <CROMO HEXAVALENTE>  
<DIFENILZARBACIDA> <AGUAS RESIDUALES> <FUENTES HIDRICAS>

## SUMMARY

In this research, a technique was defined for the hexavalent Chromium in aqueous solution with *Muse cavendishii* (banana peel), in the laboratories of the faculty of Sciences at Escuela Superior Politecnica de Chimborazo, for which it was needed like technical factors, two Erlenmeyer flasks 1000 ml, four glass beakers of 250 ml, pipettes, balance, constant stirrer, UV-Visible spectrophotometer and as main factors; *Muse cavendishii* and hexavalent Chromium, where the absorptive capacity that presents the biomass to remove hexavalent chromium was analyzed, which was subjected to a wash with demineralized water and constant stirring for 72 hours to later move to the bacteriological heater where it dried up for 24 hours to 120 °C, and subsequently, in the four flasks containing the aqueous solution of hexavalent chromium at different pH, adjusting the conditions with nitric acid (HNO<sub>3</sub>) for acid pH and sodium hydroxide (Na(OH)) for basic pH, it was added in the first two flasks a concentration of 2.5 g of biomass and in the two remaining a concentration of 5g of biomass, which were stored in two bacteriological heaters to different temperatures (28 °C and 60°C) and they were analyzed to different times (0min, 60min, 120min, 180min) to determine the concentration of the metal in study by the method with Diphenylcarbazide. Obtaining the best result of removal metal in the conditions of; 180 min, to acid pH (1.0) and 28°C with a value of 5g of biomass. Concluding that biomass study (*Musa cavendishii*) presented high removal capacity for hexavalent chromium, so it is recommended the application of this economical, easy and efficient technique, available to small and large companies of leather tanning galvanized, chemical producers, manufacturing of chrome, among others, to remove the hexavalent chromium from waste waters before its final discharge in the natural water sources (rivers) closest to its place.

**KEY WORDS:** <REMOVAL OF HEXAVALENT CHROMIUM> <ESPOCH> <BANANA PEEL [*MUSE CAVENDISHII*]> <BIOMASS> <ABSORTIVE CAPACITY> <HEAVY METAL <CHROMIUM> <HEXAVALENT CHROMIUM> < DIPHENYLCARBAZIDE > <WASTER WATER > <WATER SOURCES>

# CAPÍTULO I

## 1. INTRODUCCION

### 1.1. Identificación del problema

El gran aumento de la población mundial y la demanda industrial moderna generan problemas ambientales que han contribuido para la contaminación ambiental tanto de la superficie terrestre como del agua, siendo parte de esta contaminación los metales pesados que son considerados contaminantes devastadores en altas concentraciones para el ambiente y el ser humano. Esto ha dado como resultado una alteración de los ecosistemas asentados en nuestro ambiente.

El cromo es un metal pesado de la primera serie de transición por lo que posee sus propiedades bioquímicas y químicas propias, presentando estado de oxidación +2, de poca importancia considerado como cromo metálico, sin embargo los compuestos de categoría biológica se encuentran en estados de oxidación +3 y +6 destacando que el cromo hexavalente (Cr VI) genera efectos genéticos y contaminantes de incidencia alta.

Por lo expuesto, esta investigación se enfoca en la utilización de biomasa formada por compuestos químicos con macromoléculas como la celulosa, hemi-celulosa y lignina, que facilitan el proceso de absorción de los metales pesados siendo una opción sustentable de bajo costo, sencilla, de fácil de aplicación y eficaz para eliminar sustancias contaminantes por medio de la coordinación de los diferentes grupos funcionales y el intercambio de iones.

Considerando esta necesidad se ha realizado la presente investigación con el fin de aportar una solución eficaz generando un tratamiento alternativo a la presencia de cromo hexavalente (Cr VI) que manifiesta un impacto negativo sobre el ambiente y brindando una solución que aporte al cuidado del ambiente y preservación de la salud de los seres vivos.

## 1.2. Justificación de la investigación

Ecuador en su norma ambiental establece un rango de límite permisible de 0, 5 mg.L<sup>-1</sup> de cromo hexavalente (Cr VI) para descargas en sistemas de alcantarillado, cuerpos de agua dulce y cuerpos de agua marina. En la actualidad existen métodos físico-químicos como la precipitación, intercambio iónico, ósmosis inversa y absorción, considerados efectivos para remover cromo hexavalente (Cr VI) pero también presentan varias desventajas entre las que se pueden mencionar los costos altos en requisitos energéticos y consumo de productos químicos. Esto ha motivado que se busque tecnologías alternativas basadas en los procesos naturales que presentan ciertas biomásas residuales para capturar especies metálicas en soluciones acuosas contribuyendo a la sostenibilidad de las técnicas alternativas.

**Tabla 1.** Nutrientes *Musa cavendishii*

<i>Musa cavendishii</i>		
Nutrientes	Verde %	Maduro %
Humedad	79.1	80.93
Proteína Cruda	3.9	2.6
Almidón	20.1	1.2
Celulosa	7.54	0.92
Azúcares(Sacarosa, Glucosa, Fructosa)	1.6	20.6
Cenizas	1.06	1.08

**Realizado por:** CARRIÓN, Blanca (2000)

**Fuente:** Lusty y Sharrock,

La *Musa cavendishii* es el producto bananero que más exporta el Ecuador, con una participación del 94%. A continuación (Tabla 1) se describe la composición proximal por su contenido de bio-activos, se investigará su utilidad, uso, beneficio y capacidad de absorción del cromo hexavalente con el fin de dar una solución a este contaminante ambiental.

El proyecto es viable ya que está enmarcado dentro de las líneas de investigación de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en el área de Biotecnología y línea de Físico Química Ambiental al ser factible para la formación profesional del investigador.

### **1.3. Objetivos**

#### **1.3.1. Objetivo General**

Definir una técnica para la reducción de cromo hexavalente en solución acuosa mediante la utilización de *Musa cavendishii* (cáscara de plátano).

#### **1.3.2. Objetivos Específicos**

- Determinar la capacidad de absorción de la cascara del plátano en contacto con el cromo hexavalente a diferentes concentraciones de pH (ácido – básico) al final de la experimentación.
- Comparar la eficiencia del proceso de impregnación de cromo hexavalente a diferentes temperaturas (28°C y 60°C)
- Evaluar la variación de tiempo en el proceso de absorción de concentración de cromo hexavalente (cromo VI) en las soluciones acuosas.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Antecedentes de la investigación

La contaminación generada por las actividades industriales y la degradación del ambiente han provocado que se busque alternativas sustentables de remediación para eliminar o disminuir la presencia de los metales pesados en las descargas industriales a la superficie terrestre y agua, utilizando los biomateriales residuales que se emiten en toneladas a los rellenos sanitarios. Investigaciones realizadas en países del primer mundo incluyen cortezas de árboles, residuos de madera, semillas y hojas de diferentes árboles, cáscaras de frutos, residuos de cereales, flores, y cítricos.

Tales trabajos demostraron que el biomaterial presenta capacidades de absorción positivas para la remoción de cromo hexavalente, la biomasa exhibió la máxima capacidad de absorción, (Revista Ciencias e Ingeniería al Día, 2014) dando los siguientes resultados (ver Tabla 2).

**Tabla 2.** Capacidad de adsorción de diferentes biomasas

BIOMASA UTILIZADA	METAL REMOVIDO	CAPACIDAD REMOCIÓN (mg/g)	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA
Aserrín	Cr(VI)	41.5	Gupta S y Babu B, 2009
Residuos de trigo	Cr(VI)	322.58	Chen S et al., 2010
Cáscara de tamarindo	Cr(VI)	151.5	Rao Popuri et al., 2007
Espiga de arroz	Cr(VI)	3.15	Gao H et al., 2008
Cáscara de almendra	Cr(VI)	3.4	Pehlivan E y Altun T, 2008
Cáscara de avellana	Cr(VI)	8.28	Pehlivan E y Altun T, 2008
Salvado de trigo	Cr(VI)	310.58	Singh K et al., 2009

Cáscara fruta de bael	Cr(VI)	17.27	Anandkumar J y Mandal B, 2009
Residuos de bellota	Cr(VI)	31.48	Malkoc E y Nuhoglu Y, 2007
Residuos de girasol	Cr(VI)	7.9	Jain M et al., 2009
Tallos de maíz	Cr(VI)	200	Chen S et al., 2011
Residuos de naranja	Cr(III)	74,87	Pérez A et al., 2009
Residuos de rosa	Cr(III)	67.34	Iftikhar A et al., 2009
Asestín de meranti	Cr(III)	37.88	Rafatullaha M et al., 2009
Cáscara de maní	Cr(III)	27.86	Witek-Krowiak A et al., 2011
Cáscara de nuez	Cr(VI)	8.01	Pehlivan E y Altun T, 2008
Cáscara de nuez	Cr(VI)	8	Altun T y Pehlivan E, 2012
Cáscara de pistacho	Cr(VI)	116.3	Moussavi G y Barikbin B, 2010

Realizado por: CARRIÓN, Blanca (2016)

Fuente: Sharrock,

## 2.2. Marco conceptual

### 2.2.1. Residuos sólidos orgánicos

Es un conjunto de desechos biológicos que se genera por seres vivos.

Considerados una parte importante de los desechos sólidos municipales en general, que se generan primariamente en hogares, áreas de comercio y de forma secundaria en centros industriales.

### **2.2.1.1. Características**

Son desechos sólidos orgánicos pueden ser procesados ante el oxígeno para su compostaje y en el caso contrario en ausencia del oxígeno a través de digestión anaeróbica, estos dos métodos dan como resultado un proceso de biorremediación sostenible.

### **2.2.2. Biomasa**

Biomasa es la materia orgánica que se obtiene de plantas, árboles y/o desechos de animales que pueden ser aprovechados por sus propiedades para ser transformados en energía mediante diversos procesos; o la biomasa proveniente de la agricultura (residuos de cultivos.) que por sus propiedades químicas puede ser aprovechado para la absorción de metales pesados. (Montero, G., Ruiz-Peinado, R., & Muñoz, M. 2005, p. 23)

Una de las energías renovables conocidas por el hombre más antigua que ha sido utilizada desde que se descubrió el fuego por nuestros ancestros.

#### **2.2.2.1. Clasificación**

Se conoce distintos órdenes desde un punto ecológico siendo estos:

- **Biomasa primaria:** formada directamente por los seres fotosintéticos (plantas verdes, algas y demás autótrofos) considerada materia orgánica en este grupo comprende la biomasa vegetal incluyendo residuos agrícolas y forestales.

- **Biomasa secundaria:** procedente de seres heterótrofos capaces de utilizar su nutrición formada por los autótrofos (primaria).
- **Biomasa terciaria:** es la producida por los seres que se alimentan de biomasa secundaria, como sería el caso de la carne de los animales carnívoros los cuales se alimentan de los herbívoros (biomasa secundaria). (Méndez, 2008, p. 45).

### 2.2.3. *Metales pesados*

Los metales pesados es un grupo de elementos que exhibe propiedades metálicas, su peso atómico se encuentra dentro del rango de 63.55 (Cu) y 200.59 (Hg) con un peso específico mayor a 4 (g/cm<sup>3</sup>).

La toxicidad de los metales pesados no recae en sus propiedades fundamentales sino en las concentraciones en las que se presentan, destacando que esto infiere dependiendo como se presente en el medio (agua y suelo), al momento que estos son introducidos al ambiente y en especial a los sistemas acuáticos por la actividad industrial provocan una amplia cantidad de efluentes contaminados con altos niveles tóxicos de metales pesados manteniéndose en el medio por no ser química ni biológicamente degradables. (Infante, P. D. 2005, pp 357-361)

#### 2.2.3.1. *Clasificación*

Los elementos que se citan bajo metales pesados son:

**Tabla 3.** Capacidad de adsorción de diferentes biomasas

<b>Nombre</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Número Atómico</b>	<b>Características</b>
Níquel	Ni	28	Se acumula en medios acuáticos, sin experimentar biomagnificación
Cobre	Cu	29	Esencial para la vida humana en dosis bajas pero en el caso contrario provoca irritación en el estómago, intestino, anemia y daño renal y hepático.
Cadmio	Cd	48	Micronutriente esencial (animales, humanos y plantas). Persistente en el medio y cuando es absorbido por el ser humano se mantiene por décadas antes de ser expulsado.
Mercurio	Hg	80	Contaminante global se encuentra en la corteza terrestre del proceso de gasificación, evaporación de masas de agua y emisiones volcánicas. Es toxico y ausente de forma natural en organismos vivos.
Plomo	Pb	82	Generado por fuentes antropogénicas y naturales, ingerido al organismo por tierra, polvillo (pinturas con plomo), alimentos y agua. Siendo dúctil, maleable y se forma con facilidad.
Cromo	Cr	24	Se encuentra en pigmentos y aleaciones para papel, caucho, pinturas y cemento entre otras aplicaciones, tiende acumularse en ambientes acuáticos y este puede ser ingerido por el pescado contaminado.

**Realizado por:** CARRIÓN, Blanca (2016)

**Fuente:** Grant,

### 2.2.3.2. Usos

**Tabla 4.** Metales pesados utilizados en industrias

Fuente de la Industria	Zn	As	Cr	Pb	Fe	Cd	Hg	Ni	Al
Automóvil	X		X	X	X	X		X	
Refinación de petróleo	X	X	X	X	X			X	
Papel	X		X	X			X	X	
Textil			X		X				
Acero	X	X	X	X	X	X		X	
Productos químicos orgánicos	X	X	X	X	X	X	X		X
Productos químicos inorgánicos	X	X	X	X	X	X	X		X
Fertilizantes		X	X	X	X	X	X	X	X
Plásticos y sintéticos					X				
Cuero curtido y acabado			X						
Vidrio		X							
Minería									
Energía nuclear									
Laminado de metal	X		X			X			

Realizado por: CARRIÓN, Blanca (2016)  
Fuente: Grant

### 2.2.3.3. Efectos

Los metales pesados (MP) son clasificados en tres grupos de acuerdo con Wang *et al.*, 2006:

- **Metales tóxicos:** Cr, Hg, Pb, Zn, Cu, Ni, Cd, As, Co, Sn.
- **Metales preciosos:** Pt, Pd, Ag, Au, Ru.
- **Radio-nucleótidos:** U, Th, Ra, Am.

Basados en la clasificación los efectos y síntomas emitidos a la salud humana depende de cada metal:

**Tabla 5.** Efecto de los metales pesados utilizados en industrias

<b>Metal Tóxico</b>	<b>Efectos a la salud</b>	<b>Referencia Bibliográfica</b>
Zinc	Irritabilidad, rigidez muscular, pérdida de apetito y náuseas.	Bhattacharya A. K., Mandal S. N., Das S. K. 2006
Cromo	Cáncer del tracto digestivo y pulmones, esterilidad, daños en la piel, vómito, diarrea.	Kiran B., Kaushik A., Kaushik C. P. 2007
Manganeso	Neurotoxicidad, niveles bajos de hemoglobina y acumulación gastrointestinal.	Parvathi K., Nareshkumar R., Nagendran R. 2007
Plomo	Anemia, encefalopatía, hepatitis y síndrome nefrítico.	Martins B. L., Cruz C. C.V., Luna A. S., Henriques C. A. 2007
Cobre	Acumulación cerebral, piel, hígado, páncreas y miocardio, daño renal y anemia.	Vijayaraghavan K., Palanivelu K., Velan M. 2006
Cadmio	Cáncer, daño renal, destrucción de la membrana mucosa, vómitos, diarrea.	Godt J., Scheiding F., Grosse-Siestrup C., Esche V., Brandenburg P., Reich A., Groneberg D.A. 2006
Mercurio	Deterioro del sistema nervioso.	Karnika, A. H., Reddy, R. S., Saradhi, S. V., Singh, J. 2007
Níquel	Problemas pulmonares, renales y gastrointestinales, fibrosis pulmonar.	Borba C.E., Guirardello R., Silva E.A., Veit M.T., Tavares C.R.G. 2006

Realizado por: CARRIÓN, Blanca (2016)

Fuente: Veit

#### **2.2.3.4. Técnicas de remoción de metales pesados tóxicos en efluente**

La tecnología es muy utilizada para la remoción de estos elementos tóxicos en aguas residuales, siendo estos métodos altamente costosos y en algunos casos ineficientes (concentración del metal es baja), las técnicas utilizadas son:

- Intercambio de iones.
- Coagulación química
- Tratamiento electroquímico.
- Reducción y absorción a partir de absorbentes mixtos.
- Ósmosis inversa.

Por ejemplo, los sistemas de membranas e intercambio de iones son técnicas costosas en grandes cantidades de agua y aguas residuales con concentraciones bajas de MP, precipitación química y tratamiento electroquímico son ineficientes, cuando existe una concentración de iones de 1 a 100 mg/l en solución acuosa, considerando que la absorción es eficaz y versátil tanto en concentraciones altas y bajas para la eliminación de metales pesados sin embargo su aplicación industrial es alto por el precio de los absorbentes (ej. carbón activado).

En vista del costo – beneficio el ser humano ha incursionado en estudios de eliminación y absorción de metales pesados utilizando materiales naturales disponibles en cantidades grandes, de las diferentes operaciones industriales y agrícolas. (Bhattacharya A. K., Mandal S. N., Das S. K. 2008, pp. 43-51)

#### **2.2.4. Cromo**

El cromo es un elemento perteneciente del grupo de los oligoelementos , el séptimo más abundante, que se encuentra en cantidades grandes en el agua, tierra, aire y alimentos siendo parte de la corteza terrestre resaltando que este elemento metálico es insípido e inodoro.

El cromo en el ambiente presenta varias valencias, las cuales se derivan del cromo trivalente (III) considerado para los humanos un nutriente esencial promoviendo la tarea de insulina y cromo hexavalente (VI) que se genera por acciones antropogénicas.

**Tabla 6.** Propiedades Físico-Químicas Del Cromo

<b>Símbolo química</b>	Cr
<b>Número atómico</b>	24
<b>Peso atómico</b>	51.966 g
<b>Densidad</b>	7.19 g/cm <sup>3</sup> a 20 °C
<b>Punto de ebullición</b>	2672 °C
<b>Punto de fusión</b>	1857 °C
<b>Solubilidad</b>	H2SO4 y HCl diluidos

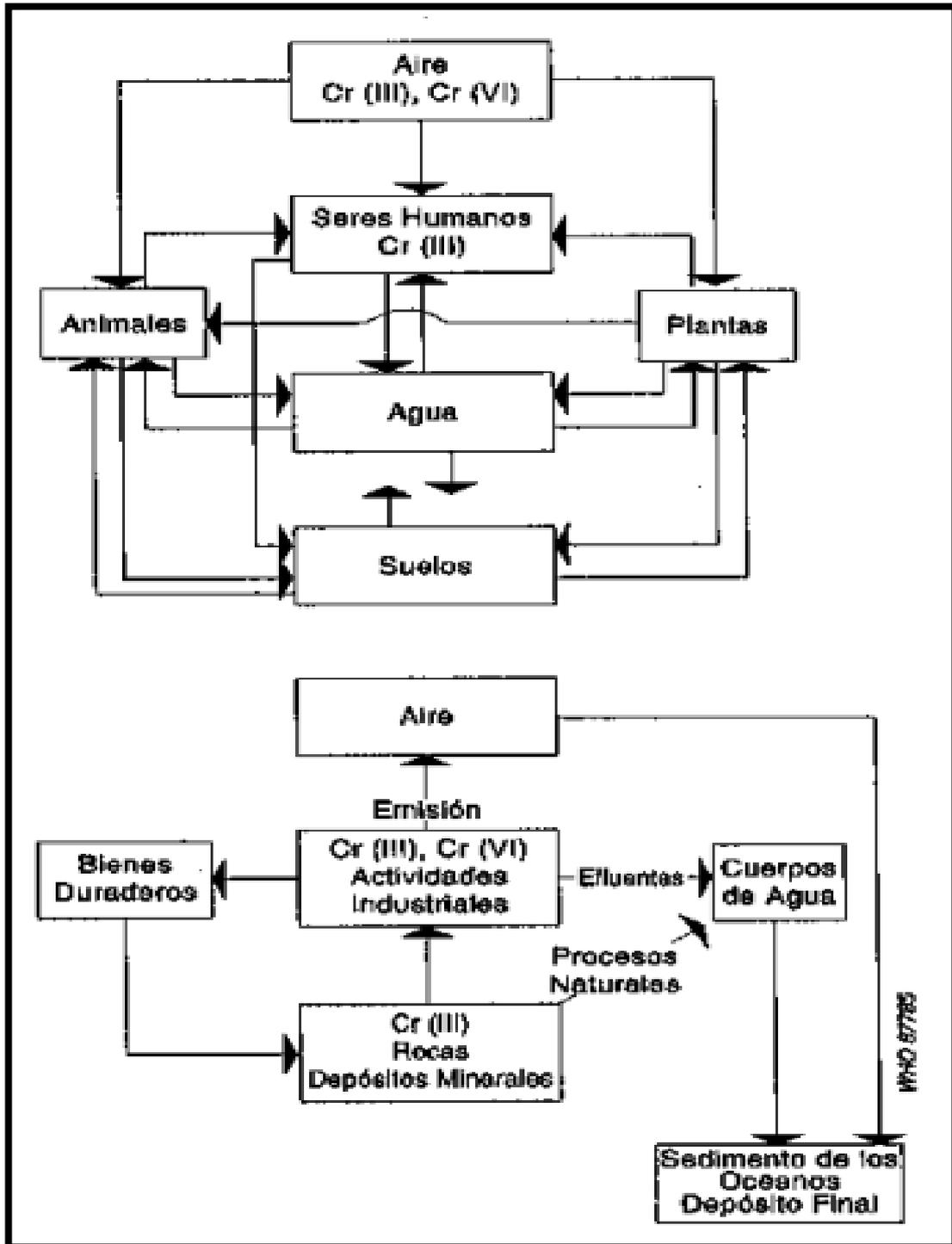
Realizado por: CARRIÓN, Blanca (2016)

Fuente: Reddy

#### 2.2.4.1. *Propiedades*

Las propiedades del cromo desde el punto químico y fisicoquímico son:

- Abundante en la corteza terrestre como óxido (Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) en combinación con oxígeno y hierro conocido con el nombre mineral **cromita**.
- Posee varios estados de oxidación, siendo -2, 0, +2, +3 y 6, siendo de menos importancia -2 y +2, 0 es el cromo metálico, los compuestos que presentan importancia biológica por su estado de oxidación son:
  - ✓ +3 (óxido crómico (Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), cloruro crómico (CrCl<sub>3</sub>) y anión cromito (Cr (OH)<sub>4</sub><sup>-</sup>)
  - ✓ +6 (Trióxido de cromo (CrO<sub>3</sub>), cromatos (CrO<sub>4</sub>)<sup>2-</sup> y dicromatos (Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>)<sup>2-</sup>)



*Ilustración 1. Ciclo ambiental del cromo (1988)*  
Fuente: IPCS

### **2.2.5. Cromo hexavalente**

Compuesto tóxico debido a que es un oxidante, tiene la capacidad de adquirir electrones de otros elementos por ser una partícula de metal, formando radicales libres en la reducción de cromo hexavalente (Cr VI) a cromo trivalente (Cr III), este elemento es encontrado de forma general en industrias con procesos como; cromado, soldadura, curtiembres y variedad de similares operaciones. Este elemento también es denominado como “cromo 6” o “cromo hex”. (Schinitman, N. 2004)

#### **2.2.5.1. Características**

- Normalmente producido por procesos industriales.
- Es un elemento considerado de alta toxicidad nacional e internacionalmente.
- Su biodisponibilidad y movilidad depende de sus variedades químicas  $\text{CrO}_3$ ,  $\text{CrO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCrO}_4^-$  o  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$  (cromo, cromatos y dicromatos).

#### **2.2.5.2. Aplicaciones**

El cromo hexavalente se lo utiliza en:

- Proceso de cromado.
- Fotografía.
- Pirotecnia.
- Fabricación de:
  - ✓ Pigmentos.
  - ✓ Productos Químicos.

✓ Pintura.

✓ Textiles.

- Curtido de Cuero.
- Conservación de madera

#### **2.2.5.3. Efectos**

La exposición y contacto con el cromo hexavalente (Cr VI) produce efectos como:

- Reacciones alérgicas.
- 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.
- Muerte.

#### **2.2.5.4. Exposición**

Las formas a la que el ser humano está expuesto a la contaminación por cromo hexavalente son:

- Inhalación (rocío, polvo o emanaciones).

- Ingestión.
- Contacto con la piel.

Siendo el trabajo industrial la fuente primaria de explosión, que puede ocurrir en industrias como:

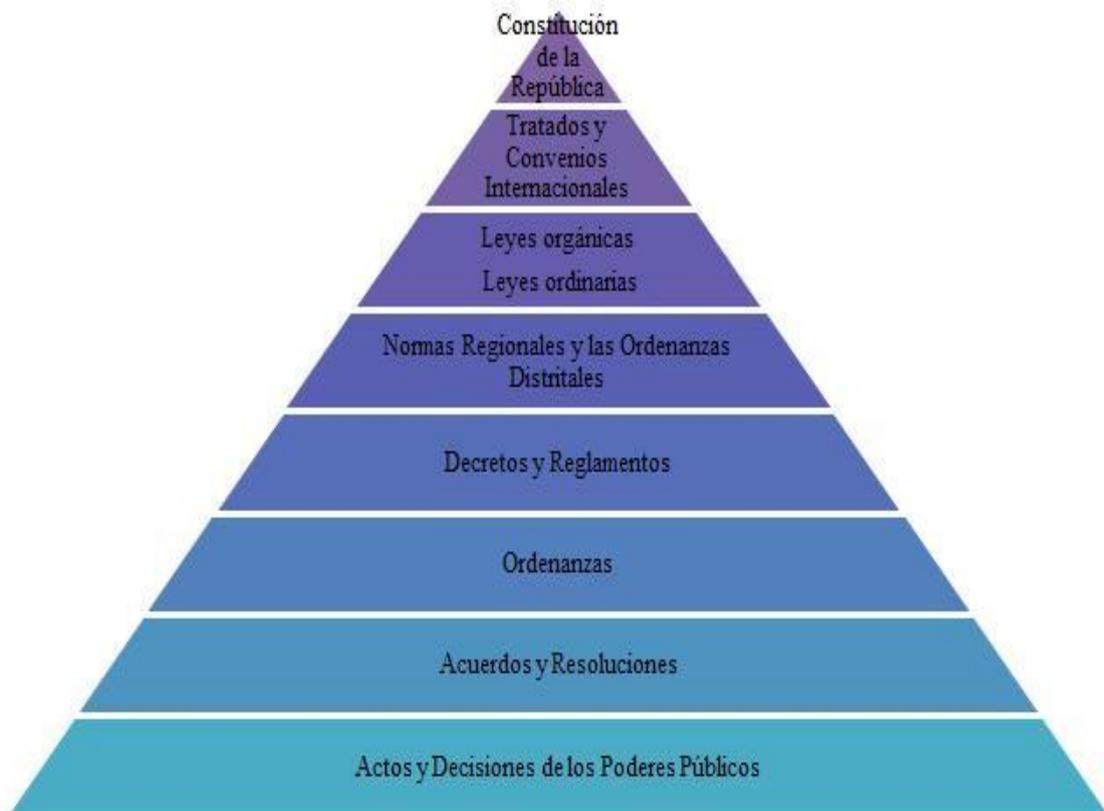
- Soldadura de acero inoxidable.
- Manufactura de cromo.
- Cromado de metales.
- Industrias de ferro-cromado.
- Pigmentos de cromo.
- Fabricantes de baterías.
- Fabricantes de velas.
- Impresores.
- Fabricación de caucho.
- Industrias del cemento.

Adicionalmente el ser humano está expuesto a niveles más altos de Cr VI viviendo cerca de:

- Corrientes de agua captadoras de descargas de las industrias de: textiles, galvanoplastia y curtido de cuero.
- Plantas industriales de manufactura o utilizan cromo.
- Industrias de refrigeración (torres de refrigeración) donde se usaba cromo para inhibir la corrosión.
- Industrias productoras de cemento.
- Carreteras (la emisión generada por el revestimiento de la fricción de los frenos de los automóviles y los convertidores catalíticos presentan cromo).

### 2.2.6. Legislación ambiental en el Ecuador

La jerarquía de las normas en el país de acuerdo con la Constitución de la República del Ecuador del 2008, en su artículo 425, establece el orden de la siguiente manera:



**Ilustración 2.** Pirámide Kelseniana - Jerarquía Legislación Ambiental en el Ecuador (2010).  
Fuente: Bustos Fernando.

#### 2.2.6.1. Marco legal de cromo hexavalente

La OSHA (Administración de Seguridad y Salud Ocupacional) estableció un tiempo de 8 horas de límite de exposición de 5 µg de cromo hexavalente (Cr VI) por m<sup>3</sup> de aire.

La Agencia de Protección Ambiental (EPA) establece 100 µg L-1 como máximo permisible de cromo total.

Los niveles permisibles de Cr (VI) en límites de descarga al alcantarillado es 0.05 mg L-1, respectivamente.

**Tabla 7.** Límites de Descarga del cromo hexavalente.

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y grasas	Sustancias solubles en hexano	mg/l	100
Alkil mercurio		mg/l	<b>No detectable</b>
Acidos o bases que puedan causar contaminación, sustancias explosivas o inflamables.		mg/l	Cero
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico total	As	mg/l	0,1
Bario	Ba	mg/l	5,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,02
Carbonatos	CO <sub>3</sub>	mg/l	0,1
Caudal máximo		l/s	1.5 veces el caudal promedio horario del sistema de alcantarillado.
Cianuro total	CN <sup>-</sup>	mg/l	1,0
Cobalto total	Co	mg/l	0,5
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Cloroformo	Extracto carbón cloroformo (ECC)	mg/l	0,1
Cloro Activo	Cl <sub>2</sub>	mg/l	0,5
Cromo Hexavalente	Cr <sup>+6</sup>	mg/l	0,5
Compuestos fenólicos	Expresado como fenol	mg/l	0,2
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	D.B.O <sub>5</sub>	mg/l	250
Demanda Química de Oxígeno	D.Q.O.	mg/l	500
Dicloroetileno	Dicloroetileno	mg/l	1,0
Fósforo Total	P	mg/l	15
Hierro total	Fe	mg/l	25,0
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	20
Manganeso total	Mn	mg/l	10,0
Materia flotante	Visible		<b>Ausencia</b>
Mercurio (total)	Hg	mg/l	0,01
Níquel	Ni	mg/l	2,0
Nitrógeno Total Kjeldahl	N	mg/l	40
Plata	Ag	mg/l	0,5
Plomo	Pb	mg/l	0,5
Potencial de hidrógeno	pH		5-9
Sólidos Sedimentables		ml/l	20
Sólidos Suspendidos		mg/l	220

**Continuación...**

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Temperatura	°C		< 40
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	2,0
Tricloroetileno	Tricloroetileno	mg/l	1,0
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/l	1,0
Sulfuro de carbono	Sulfuro de carbono	mg/l	1,0
Compuestos organoclorados (totales)	Concentración de organoclorados totales.	mg/l	0,05
Organofosforados y carbamatos (totales)	Concentración de organofosforados y carbamatos totales.	mg/l	0,1
Vanadio	V	mg/l	5,0
Zinc	Zn	mg/l	10

Realizado por: CARRION, Blanca (2016)

Fuente: TULSMA, Libro VI, Anexo No 1, Tabla No. 12

**2.2.7. *Musa Cavendishii***

Planta herbácea perenne gigante, presenta un rizoma corto, un tallo aparente, su raíz es superficial, hojas grandes en forma de espiral sus flores se caracterizan por colores amarillentas e irregulares con seis estambre y su fruto es de color va en tonalidades de amarillo verdoso, amarillo, amarillo rojizo o rojos.

Sus orígenes se dan en Asia meridional en el año 650 y a partir de 1516 llega América para ser comercializada a finales del siglo XIX y principios del XX, siendo actualmente el cuarto cultivo más importante del mundo, siendo India, Filipinas, China, Brasil, Indonesia, Tanzania y Ecuador los productores del mismo. (Corb, W. 2009).

### 2.2.7.1. Características

- **Familia:** Musáceas.
- **Especie:** *Musa cavendishii*
- **Planta:** Herbácea perenne gigante, corto rizoma y tallo aparente, resultado de las vainas foliares unidas que forman un cónico de 3.5 – 7.5 m de altura que termina en de una corona de hojas.
- **Hojas:** Muy grandes de 2 – 4 m de largo y hasta medio metro de ancho, 1 m de peciolo o más y alargado limbo elíptico. Tienden a romperse fácilmente en forma transversal por el golpe del viento.
- **Tallo:** Rizoma grande, subterráneo, almidonoso, coronado con yemas presentes en el proceso de desarrollo donde la planta floreció.
- **Flores:** Tienen formas irregulares y de color amarillo con estambres de seis los cuales fértil es uno solo.
- **Fruto:** Oblongo, se doblan en forma geotrópicamente en el proceso de desarrollo variando su peso.

### 2.2.7.2. Composición

**Tabla 8.** Composición de biomasa (*Musa cavendishii*)

<b>COMPOSICIÓN PROCIMAL / 100 g</b>	Agua	74.20
	Energía (KCAL)	92.00
	Grasa	0.48
	Proteína	1.03
	Carbohidratos	23.43
	Fibra	2.40
<b>MINERALES</b>	Potasio	396
	Fósforo	20
	Hierro	0.31
	Sodio	1
	Magnesio	29
	Calcio	6
	Zinc	0.16
	Selenio	1.1
<b>VITAMINAS</b>	Vitamina C	9.1
	Vitamina A	81
	Vitamina B1	0.045
	Vitamina B2	0.10
	Vitamina E	0.27
	Niacina	0.54

Realizado por: CARRIÓN, Blanca (2009)

Fuente: Botánica

### 2.2.8. *Marco de definiciones*

- **Agua residual:** Constituye todo caudal de agua contaminada que ha sido utilizada para diversos fines, de naturaleza doméstica o industrial, que se descarga ya sea a un cuerpo receptor o a un sistema de alcantarillado.
- **Ambiente:** Circunstancias de carácter natural y social que rodea a un organismo.
- **Biomaterial:** Compuestos de carbono que desempeña funciones biológicas de gran importancia.
- **Contaminante:** Muestra que infecta, contagia y cambia nocivamente las propiedades principales de cualquier elemento o superficie mediante otros agente físicos o químicos.
- **Cromo:** Elemento químico perteneciente a los elementos de transición y numero atómico 24, de color blanco plateado de naturaleza inoxidable y resistente a la corrosión utilizado en el cromado de objetos, creación de aleaciones y fabricación de herramientas.
- **Cromo hexavalente:** Elemento tóxico para el organismo expuesto a su toxicidad.
- **Degradación ambiental:** Proceso o conjunto de procesos que implica el deterioro de recursos naturales.
- **Intercambio de iones:** Capacidad de un polímero en forma de esferas pequeñas en intercambiar iones particulares por otros iones en una solución que pase a través de ellos.
- **Macromoléculas:** Moléculas de masa molecular elevada formada por un gran número de átomos.
- **Metales pesados:** Elementos cuya densidad es por lo menos cinco veces mayor que el agua.

## CAPÍTULO III

### 3. RESULTADOS, ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

#### 3.1.1. Resultados

##### 3.1.1.1. Biomasa

Para la obtención de la biomasa se pesó 182 g en 250 ml de agua tridesionizada, por 72 h. Posteriormente se sometió a secado obteniendo finalmente 178 g de *Musa cavendishi*.



**Ilustración 3.** Lavado y secado de *Musa cavendishi*  
*Fuente:* CARRIÓN, Blanca (2016)

### 3.1.1.2. Cromo hexavalente

En 500 ml de agua destilada se colocó 0.5 g de  $K_2CrO_4$ , ajustando su pH con  $HNO_3$  (1M) o  $Na(OH)$  (1M), ácido y básico respectivamente para los fines de experimentación.

Los cálculos de las sustancias a 1M tanto para ácido como básico se calculó de la siguiente manera:

- $Na(OH) \rightarrow 1M$

$$Na(OH) = \frac{mol}{l} * \frac{39.97 g}{mol} = 39.97 \frac{g}{l}$$

$$Na(OH) = 39.97 \frac{g}{l} * 0.05l = \mathbf{1.9985 g}$$

- $HNO_3 \rightarrow 1M$

$$M = \frac{mol}{l}$$

$$V = \frac{m}{\rho}$$

$$PM = 62.97$$

$$V = \frac{62.97 g}{1.41 g} = 44.66 ml$$

$$\rho = 1.41$$

$$V = \frac{44.66 ml (1)}{0.7} = 64ml (1)$$

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$\frac{64 ml}{x} * \frac{1l}{0.05l} = \mathbf{3.2 ml}$$

### 3.1.1.3. Cromo hexavalente con *Musa cavendishii*

La capacidad de interacción entre el metal pesado (Cr VI) y la absorción de la biomasa fue determinada por el valor obtenido mediante el método de la difenilcarbazida en el espectrofotómetro UV-Visible.

Los periodos de tiempo, temperatura, pH, y porcentaje de biomasa fueron parte determinante en la adsorción del cromo hexavalente, dando como resultado los siguientes valores tabulados.

**Tabla 9.** Absorbancia cromo hexavalente a temperatura media con 2.5 g de biomasa

<b>pH</b>	<b>Temperatura</b>	<b>Tiempo(min)</b>	<b>Absorbancia</b>	<b>Promedio</b>
<b>Básico</b>	media	0	<b>0,050</b>	
<b>Básico</b>	media	0	<b>0,053</b>	<b>0,034</b>
<b>Básico</b>	media	0	<b>0,051</b>	
Acido	media	0	0,050	
Acido	media	0	0,053	<b>0,051</b>
Acido	media	0	0,051	
<b>Básico</b>	media	60	<b>0,107</b>	
<b>Básico</b>	media	60	<b>0,106</b>	<b>0,106</b>
<b>Básico</b>	media	60	<b>0,104</b>	
Acido	media	60	0,182	
Acido	media	60	0,171	<b>0,171</b>
Acido	media	60	0,161	
<b>Básico</b>	media	180	<b>0,128</b>	
<b>Básico</b>	media	180	<b>0,130</b>	<b>0,130</b>
<b>Básico</b>	media	180	<b>0,132</b>	

Continúa...

<b>pH</b>	<b>Temperatura</b>	<b>Tiempo(min)</b>	<b>Absorbancia</b>	<b>Promedio</b>
Acido	media	180	0,336	
Acido	media	180	0,334	<b>0,333</b>
Acido	media	180	0,330	
<b>Básico</b>	media	360	<b>0,203</b>	
<b>Básico</b>	media	360	<b>0,203</b>	<b>0,205</b>
<b>Básico</b>	media	360	<b>0,208</b>	
Acido	media	360	0,444	
Acido	media	360	0,444	<b>0,445</b>
Acido	media	360	0,446	
<b>Básico</b>	media	600	<b>0,304</b>	
<b>Básico</b>	media	600	<b>0,309</b>	<b>0,306</b>
<b>Básico</b>	media	600	<b>0,305</b>	
Acido	media	600	0,705	
Acido	media	600	0,708	<b>0,706</b>
Acido	media	600	0,705	

Realizado por: CARRIÓN, Blanca, 2016

**Tabla 10.** Absorbancia cromo hexavalente a temperatura alta con 2.5 g de biomasa

<b>pH</b>	<b>Temperatura</b>	<b>Tiempo(min)</b>	<b>Absorbancia</b>	<b>Promedio</b>
Acido	alta	0	0,05	
Acido	alta	0	0,053	<b>0,051</b>
Acido	alta	0	0,051	
<b>Básico</b>	alta	60	<b>0,118</b>	
<b>Básico</b>	alta	60	<b>0,12</b>	<b>0,119</b>
<b>Básico</b>	alta	60	<b>0,119</b>	
Acido	alta	60	0,213	
Acido	alta	60	0,211	<b>0,213</b>
Acido	alta	60	0,216	
<b>Básico</b>	alta	180	<b>0,16</b>	
<b>Básico</b>	alta	180	<b>0,157</b>	<b>0,158</b>
<b>Básico</b>	alta	180	<b>0,158</b>	
Acido	alta	180	0,366	
Acido	alta	180	0,364	<b>0,364</b>
Acido	alta	180	0,363	
<b>Básico</b>	alta	360	<b>0,245</b>	
<b>Básico</b>	alta	360	<b>0,239</b>	<b>0,241</b>
<b>Básico</b>	alta	360	<b>0,24</b>	
Acido	alta	360	0,474	
Acido	alta	360	0,474	<b>0,475</b>
Acido	alta	360	0,476	
<b>Básico</b>	alta	600	<b>0,314</b>	
<b>Básico</b>	alta	600	<b>0,319</b>	<b>0,316</b>
<b>Básico</b>	alta	600	<b>0,315</b>	
Acido	alta	600	0,758	
Acido	alta	600	0,755	<b>0,757</b>
Acido	alta	600	0,758	

Realizado por: CARRIÓN, Blanca, 2016

**Tabla 11.** Absorbancia cromo hexavalente a temperatura media con 5 g de biomasa

<b>pH</b>	<b>Temperatura</b>	<b>Tiempo(min)</b>	<b>Absorbancia</b>	<b>Promedio</b>
<b>Básico</b>	media	0	<b>0,050</b>	
<b>Básico</b>	media	0	<b>0,053</b>	<b>0,051</b>
<b>Básico</b>	media	0	<b>0,051</b>	
Acido	media	0	0,050	
Acido	media	0	0,053	<b>0,052</b>
Acido	media	0	0,051	
<b>Básico</b>	media	60	<b>0,130</b>	
<b>Básico</b>	media	60	<b>0,135</b>	<b>0,135</b>
<b>Básico</b>	media	60	<b>0,139</b>	
Acido	media	60	0,644	
Acido	media	60	0,644	<b>0,645</b>
Acido	media	60	0,646	
<b>Básico</b>	media	180	<b>0,304</b>	
<b>Básico</b>	media	180	<b>0,309</b>	<b>0,306</b>
<b>Básico</b>	media	180	<b>0,305</b>	
Acido	media	180	0,758	
Acido	media	180	0,755	<b>0,757</b>
Acido	media	180	0,758	

Realizado por: CARRIÓN, Blanca, 2016

**Tabla 12.** Absorbancia cromo hexavalente a temperatura alta con 5 g de biomasa

<b>pH</b>	<b>Temperatura</b>	<b>Tiempo(min)</b>	<b>Absorbancia</b>	<b>Promedio</b>
<b>Básico</b>	alta	0	<b>0,050</b>	
<b>Básico</b>	alta	0	<b>0,053</b>	<b>0,051</b>
<b>Básico</b>	alta	0	<b>0,051</b>	
Acido	alta	0	0,050	
Acido	alta	0	0,053	<b>0,052</b>
Acido	alta	0	0,051	
<b>Básico</b>	alta	60	<b>0,164</b>	
<b>Básico</b>	alta	60	<b>0,160</b>	<b>0,164</b>
<b>Básico</b>	alta	60	<b>0,167</b>	
Acido	alta	60	0,674	
Acido	alta	60	0,674	<b>0,675</b>
Acido	alta	60	0,676	
<b>Básico</b>	alta	180	<b>0,314</b>	
<b>Básico</b>	alta	180	<b>0,319</b>	<b>0,316</b>
<b>Básico</b>	alta	180	<b>0,315</b>	
Acido	alta	180	1,099	
Acido	alta	180	1,088	<b>1,081</b>
Acido	alta	180	1,057	

Realizado por: CARRIÓN, Blanca, 2016

**Tabla 13.** Valores finales estudio de absorbancia

<b>pH</b>	<b>Temperatura</b>	<b>Tiempo</b>	<b>%Biomasa</b>	<b>Absorbancia</b>
-	-	-	-	<b>0,171</b>
+	-	-	-	<b>0,106</b>
-	+	-	-	<b>0,213</b>
+	+	-	-	<b>0,119</b>
-	-	+	-	<b>0,706</b>
+	-	+	-	<b>0,306</b>
-	+	+	-	<b>0,757</b>
+	+	+	-	<b>0,316</b>
-	-	-	+	<b>0,645</b>
+	-	-	+	<b>0,135</b>
-	+	-	+	<b>0,675</b>
+	+	-	+	<b>0,164</b>
-	-	+	+	<b>0,757</b>
+	-	+	+	<b>0,306</b>
-	+	+	+	<b>1,081</b>
+	+	+	+	<b>0,316</b>

Realizado por: CARRIÓN, Blanca, 2016

- **pH**

- - = ácido

- + = básico

- **Temperatura**

- - = media (28°)

- + = alta (60°)

- **Tiempo**
  - - = menor
  - + = mayor
- **% Biomasa**
  - - = 2.5 gramos
  - + = 5 gramos

### 3.1.2. *Análisis*

#### 3.1.2.1. *Cálculo del efecto del pH*

Se establece el acoplamiento de las parejas de experimento 1-2, 3-4, 5-6, 7-8, 9-10, 11-12, 13-14 y 15-16, con la finalidad de obtener un promedio de las diferencias.

$$\text{Par (1 - 2)} = (0.106 - 0.171) = -0.065$$

$$\text{Par (3 - 4)} = (0.119 - 0.213) = -0.094$$

$$\text{Par (5 - 6)} = (0.306 - 0.706) = -0.4$$

$$\text{Par (7 - 8)} = (0.316 - 0.757) = -0.441$$

$$\text{Par (8 - 9)} = (0.135 - 0.645) = -0.51$$

$$\text{Par (10 - 11)} = (0.164 - 0.675) = -0.511$$

$$\text{Par (12 - 13)} = (0.306 - 0.757) = -0.451$$

$$\text{Par (14 - 15)} = (0.316 - 1.081) = -1080.684$$

$$= \frac{(-0.065) + (-0.094) + (-0.4) + (-0.441) + (-0.51) + (-0.511) + (-0.451) + (-1080.684)}{8}$$

$$\text{pH} = -0.405$$

El efecto que genera la modificación del pH de su nivel bajo (ácido) a su nivel alto (básico) genera que la absorbancia disminuya en 0.405. Por eso conviene mantener el pH a su nivel bajo.

### ***3.1.2.2. Cálculo del efecto de la temperatura***

El valor obtenido es + 0.064

Esto significa que al modificar la temperatura de su nivel bajo (28°C) a su nivel alto (60°C) ocurre un aumento de absorbancia de 0.064. Puesto que el incremento es leve parece que este efecto no es significativo. Se podría mantener la temperatura en su nivel bajo.

### ***3.1.2.3. Cálculo del efecto del tiempo***

El valor obtenido es + 0.290

Esto indica que al modificar el tiempo de su nivel bajo a su nivel alto se produce un aumento de la absorbancia de 0.290. Este incremento es significativo y por tanto conviene fijar el tiempo a su nivel alto.

#### **3.1.2.4. Cálculo del efecto de la biomasa**

El valor obtenido es + 0.132

Esto indica que al modificar el % de biomasa de su nivel bajo (ácido) a su nivel alto (básico), ocurre un aumento de la absorbancia de 0.132. Conviene por tanto fijar el % de biomasa a su valor alto.

#### **3.1.3. Discusión**

En el trabajo realizado se observó la eficiencia que posee la *Musa cavendishii* (cáscara de plátano) al remover el Cromo hexavalente (Cr VI) en diferentes tiempos, dependiendo de la concentración en la que se encontraba la biomasa, siendo estas 2500mg/500 ml y 5000mg/500ml a dos temperaturas de 28°C y 60°C con pH ácido y básico.

Las diferentes condiciones dieron como resultado la remoción total del metal pesado en su totalidad, hecho que se evidenció con el cambio de color de la solución acuosa y el valor de absorbancia constante en el momento de la lectura en el espectrofotómetro UV- visible tanto para 2500 mg y 5000 mg, como se observa en las figuras 2 y 3 respectivamente, un antes y después de las muestras en los periodos de tiempo 0 min, 180 min (básico – ácido) con 5000 mg y 600 min (básico – ácido) con 2500 mg.



**Ilustración 4.** Solución de Cr VI con *Musa cavendishii* a diferentes pH, T° y 60 min  
**Fuente:** CARRIÓN, Blanca (2016)



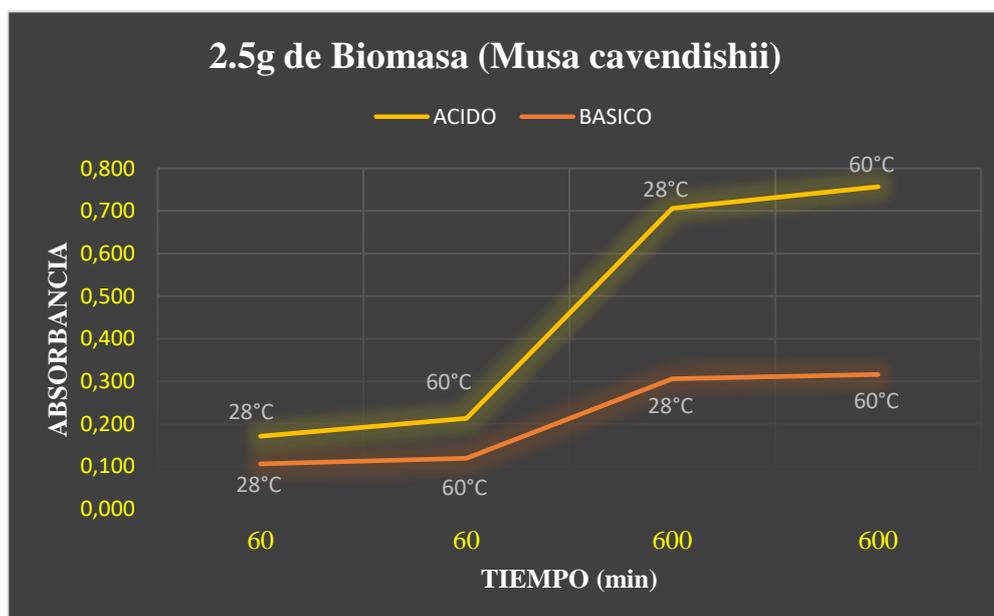
**Ilustración 5.** Cambio de color de las soluciones acuosas ante la reducción del cromo  
**Fuente:** CARRIÓN, Blanca (2016)

En relación a la influencia del pH sobre la eficiencia de remoción, se encontró una actividad alta a pH 1.0 +/- 0.2 (nivel bajo-ácido) puesto que bajo esta condición se eliminó en su totalidad el metal, estos datos concuerdan con algunos reportes de las literaturas Acosta-Rodríguez [14, 15].

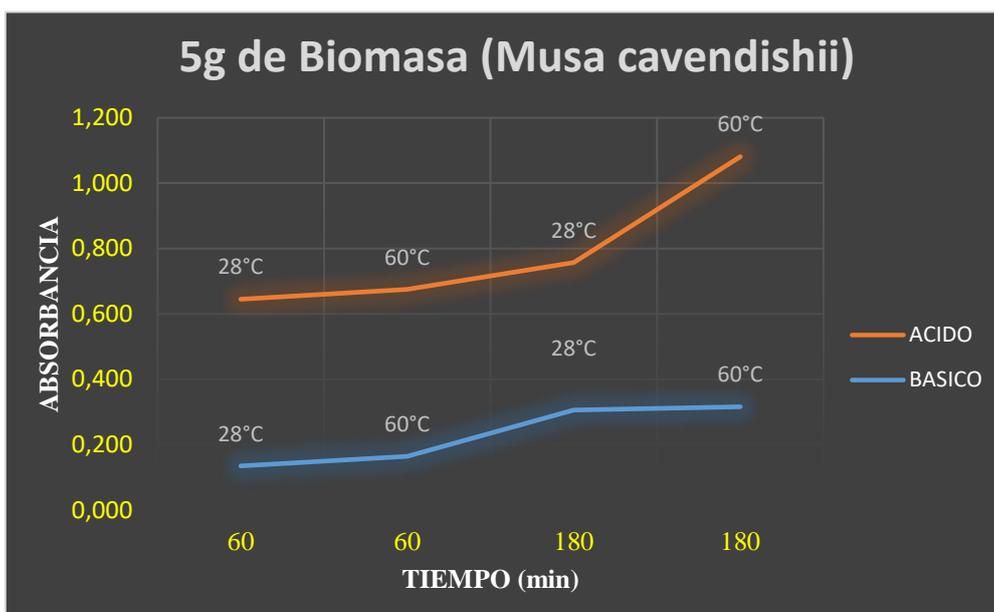
Las propiedades de las biomas naturales que han sido estudiadas en el mundo los autores reportan un pH óptimo de 2.0 como por ejemplo: semillas de tamarindo [16]; la corteza de eucalipto [17]; bagazo y pulpa de caña de azúcar [18]; fibras de coco [19] y lana [20], y un pH 3.0 para cáscara de tamarindo tratada con ácido oxálico.

El factor de la temperatura en el experimento realizado no presenta un valor significativo (0.064) ya que tanto el nivel bajo como el nivel alto facilitaron la velocidad de remoción del Cromo hexavalente (Cr (VI)) bajo la condición del pH anteriormente explicada.

Con respecto a al tiempo y a la cantidad de biomasa, el primer factor mencionado es recomendable dejar en su nivel alto para obtener mejores resultados del mismo, en cuanto a la cantidad de biomasa, también se incrementa la remoción de Cromo hexavalente (Cr(VI)), dichos factores expuestos en la discusión se presenta en las figuras 2 y 3, pues a 2,5 g se obtiene la remoción del metal en pH ácido en un tiempo de 600 min, mientras que a 5 g el efecto de remoción del metal en pH ácido se logra en un tiempo de 180 min.



**Ilustración 6.** Resultados de la adsorción de Cr VI con 2.5 g de Musa cavendishii  
*Fuente:* CARRIÓN, Blanca (2016)



**Ilustración 7.** Resultados de la adsorción de Cr VI con 5 g de *Musa cavendishii*

Fuente: CARRIÓN, Blanca (2016)

En base a los resultados obtenidos de los efectos de los factores se puede recomendar las siguientes combinaciones de niveles:

(- - + +) → Experimento 13 (Respuesta: 0.757)

(- + + +) → Experimento 15 (Respuesta: 1.081)

Esto quiere decir:

**Tabla 14.** Resultados para la remoción de cromo hexavalente

pH	Temperatura	Tiempo(min)	%Biomasa	Absordancia	Porcentaje
acido	28	180	5	<b>0,757</b>	<b>70</b>
acido	60	180	5	<b>1,081</b>	<b>100</b>

Fuente: CARRIÓN Blanca, 2016

## CONCLUSIONES

- Los resultados obtenidos experimentalmente demuestran que un nivel bajo (ácido) en el pH da origen la protonación de la superficie del absorbente, lo que provoca una fuerte atracción por los iones del Cromo hexavalente (Cr(VI)) de la solución cargados negativamente, dando como resultado que la bioabsorción incremente al aumentar la acidez de la solución, sin embargo en un nivel de pH alto (básico) se incrementa la concentración de iones OH<sup>-</sup>, esto induce cambios en la superficie del absorbente imposibilitando la completa bioabsorción de los iones Cromo hexavalente (Cr(VI)) cargados negativamente, lo cual disminuye la eficiencia de reducción de metal.
- La velocidad de remoción de Cromo hexavalente (Cr(VI)) no se vio directamente comprometida ya sea por el nivel bajo a el nivel alto de este parámetro, ya que ambas condiciones permitieron la remoción del metal, por lo tanto para la aplicación industrial de esta experimentación se puede trabajar de manera eficiente con una temperatura de 28°C.
- El tiempo obtenido en el proceso de absorción se relaciona directamente con la cantidad de biomasa expuesta en la solución acuosa para la reducción de Cromo hexavalente (Cr(VI)), esto indica que la eliminación del metal se obtiene en el nivel más alto del tiempo dependiendo de la concentración de biomasa.

## RECOMENDACIONES

La capacidad de remoción que presentan las diferentes biomásas deberían ser estudiadas a fondo para aprovechar sus propiedades y así eliminar o remover la toxicidad que genera algunos metales pesados encontrados en las diferentes actividades industriales que el hombre realiza con la finalidad de mejorar su calidad de vida, sin tomar en cuenta los efectos secundarios que emiten estas actividades al medio ambiente.

Por lo cual sugiero seguir investigando esta tecnología para la aplicación en las industrias, tanto de la *Musa cavendishii* u otras biomásas que son naturales, fáciles de transportar, fácil de obtener en grandes cantidades y es considerada un material de desecho sin tomar en cuenta los grandes beneficios que presenta la biomasa al reducir o eliminar los metales que son resultado de las diferentes actividades industriales generadas por el hombre, sin darse cuenta el daño irreparable al que es expuesto el medio ambiente.

## BIBLIOGRAFÍA

1. **AGARWAL, George, et.all** ;( 2014) *Biotechnology Journal*, Bioresour Technol, Chicago- EEUU, n°.3, p. 949-956.
2. **ASCHINITMAN.** (2004) Universidad del Norte. [En línea]. Metales pesados, ambiente y salud [PDF]  
[Citado el: 1 de julio del 2016]  
Disponible en:  
[http://www.ecoportat.net/TemasEspeciales/Contaminacion/Metales\\_Pesados\\_Ambiente\\_y\\_Salud](http://www.ecoportat.net/TemasEspeciales/Contaminacion/Metales_Pesados_Ambiente_y_Salud)
3. **ABU, Fahir.** (2006) *Process Biochemistry Journal*, “Biosorption of copper on *Chlorella vulgaris* from single, binary and ternary metal aqueous solutions”. Quebec-Canadá, n° 41, p. 457-464.
4. **ACOSTA-RODRÍGUEZ,** (2015) Revista científica, *Biochem Biotech*, Madrid-España, n°3, p. 7-13.
5. **ALKALAY, David.** (2014) Universidad de México. [En línea]. Aprovechamiento de desechos agropecuarios para la producción de energía.  
[Citado el: 11 mayo de 2016]  
Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/006/ad098s/AD098S08.htm>
6. **AMDUR, Doull.** (2000). *The Basic Science of Poisons Journal*, Casarett and Doull’s Toxicology, Inc.-New York, 4a. ed., McGraw-Hill, p. 638-639

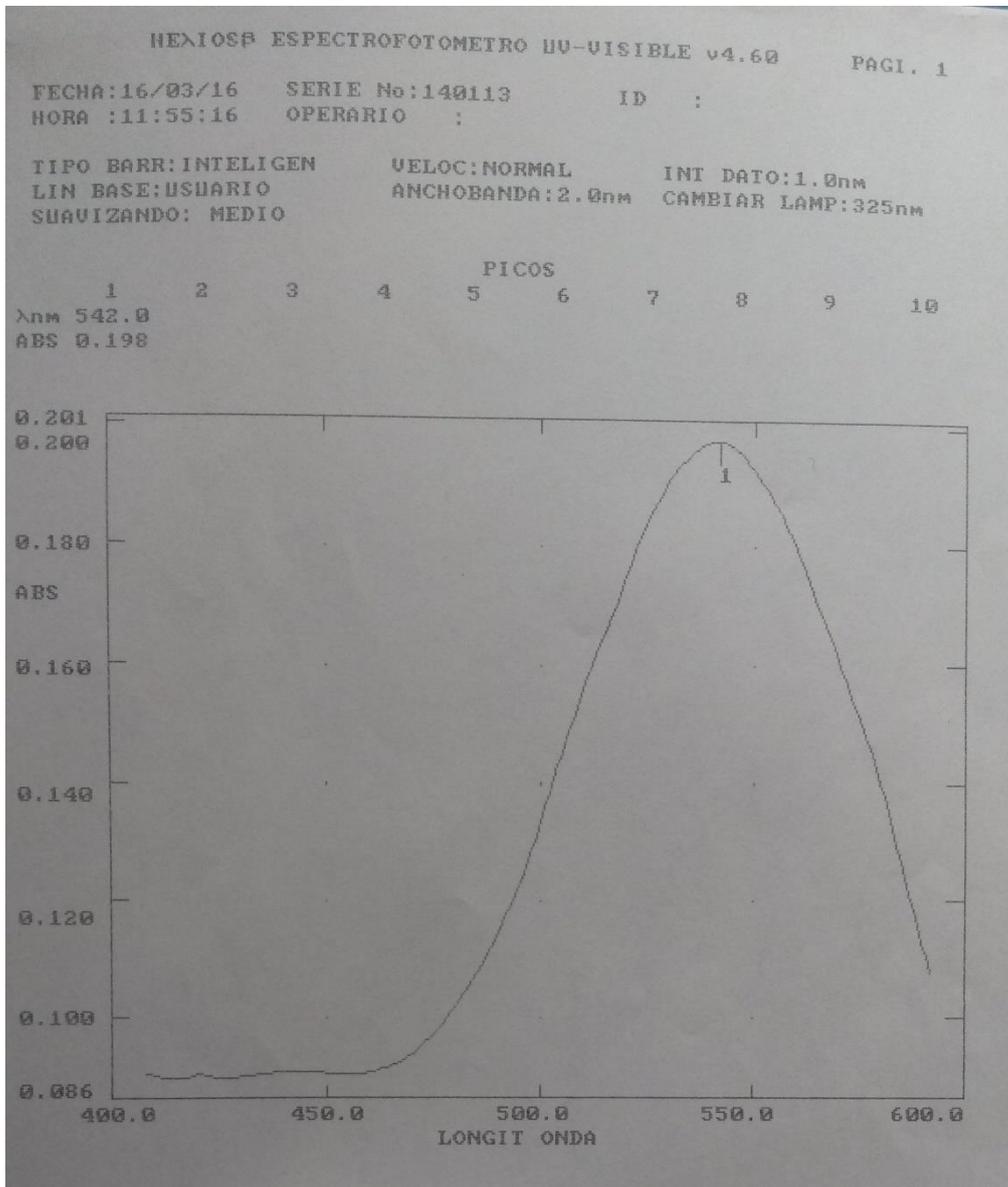
7. **APHA-AWWA.** (2005). Revista científica. "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater". Albany-New York, 21th Edition, p. 3-67, method 3500-Cr B.
  
8. **BHATTACHARYA,** (2008) Chemical Engineering Journal. "Adsorption of Zn(II) from aqueous solution by using different adsorbents", Londres-Inglaterra, n°123, p. 43-51.
  
9. **CORB, Whelt.** (2009). Universidad de España. [En línea]. MUSA.  
[Citado el: 5 de junio del 2016]  
Disponible en: <http://es.wikipedia.org/wiki/Banana>
  
10. **DUFFUS, Joel.** "Heavy metals"- a meaningless term- Pure Appl. Chem., Vol. 74, n°. 5, 2002, p. 793-807
  
11. **ECUADOR. MINISTERIO DEL AMBIENTE REPÚBLICA DEL ECUADOR (MAE).** (2007). Texto Unificado de Legislación Secundaria. Quito – Ecuador, [En línea]  
[Citado el: 3 de junio del 2016]  
Disponible en:  
[http://www.efficacitas.com/efficacitas\\_es/assets/Registro%20Oficial%20Normas%20Tecnicas%20Ambientales.pdf](http://www.efficacitas.com/efficacitas_es/assets/Registro%20Oficial%20Normas%20Tecnicas%20Ambientales.pdf) 2016 -02-2
  
12. **ESPAÑA. MINISTERIO DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE DE ESPAÑA** (2015) Barcelona – España. [En línea].  
[Citado el: 21 de julio del 2016].  
Disponible en:  
[http://www.magrama.gob.es/es/calidad-y-evaluacionambiental/publicaciones/COPs\\_tcm7-284041.pdf](http://www.magrama.gob.es/es/calidad-y-evaluacionambiental/publicaciones/COPs_tcm7-284041.pdf)

13. **GODT Joel, et.all** ;( 2004) Journal of Occupational Medicine and Toxicology “The toxicity of cadmium and resulting hazards for human health” Berona-Italia, n°1, p. 1-6.
  
14. **GUALOTO, Michael.** (2015) Barcelona-España. [En línea]. Biorremediación: Principios y Técnicas.  
[Citado el: 22 de junio del 2016]  
Disponible en: <http://es.slideshare.net/MiguelGualoto/biorremediacion-14939016> 2016-03-0.
  
15. **INFANTE, Phillip.** (2005). Revistas Científicas de América Latina. Estudio de la contaminación por metales pesados en sedimentos y ostiones de la Bahía de Manzanillo, Habana-Cuba., n°5, p. 357-361
  
16. **KIRAN, Carl.** (2007) Journal of Hazardous Materials. “Biosorption of Cr (VI) by native isolate of *Lyngbya putealis* (HH-15) in the presence of salts”. Houston-Texas, n° 141, p. 662-667.
  
17. **MARTINS Bleach,** (2006) Biochemical Engineering Journal. “Sorption and desorption of Pb<sup>2+</sup> ions by dead *Sargassum* sp. Biomass”, Munich-Alemania, n°27, p. 310-314.
  
18. **MONTERO, Gadiel.** (2005) Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria. Producción de biomasa., Quito-Ecuador, n°5, p. 45
  
19. **PARVATHI Kell, et.all;** (2009) World Journal Microbiology and Biotechnology. “Biosorption of manganese by *Aspergillus niger* and *Saccharomyces cerevisiae*”, Quebec-Canadá, n° 23, p. 671-676.

20. **RESMUTH, Kevin.** (2009) Sevilla-España. [En línea]. Propiedades de los plátanos. [Citado el: 5 de junio de 2016]  
Disponible en: <http://www.botanical-online.com/platanos1.htm>
  
21. **RODIER, Joel.** (2000) Ediciones Omega. “Análisis de las aguas: aguas naturales, aguas residuales, agua de mar”, Barcelona-España, nº19, p. 269-272.
  
22. **VIJAYARAGHAVAN,** (2006) Journal Bioresource Technology. “Biosorption of copper (II) and cobalt (II) from aqueous solutions by crab shell particles”, Sevilla-España, nº 97, p. 1411-1419.

# ANEXOS

## Anexo A. Determinación de longitud de onda (Método Difenilcarbazida)



Fuente: CARRIÓN Blanca, 2016

**Anexo B.** *Musa Cavendishii* (cáscara de plátano)



**Fuente:** CARRIÓN Blanca, 2016

**Anexo C.** Lavado de la *Musa Cavendishii* (cáscara de plátano)



**Fuente:** CARRIÓN Blanca, 2016

### Anexo D. Soluciones para la curva de calibración



Fuente: CARRIÓN Blanca, 2016

### Anexo E. Determinación de la longitud de onda



Fuente: CARRIÓN Blanca, 2016

**Anexo F.** Soluciones de cromo VI a los 180 min en contacto con *Musa cavendishii*



**Fuente:** CARRIÓN Blanca, 2016