

**UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA Y GESTIÓN**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



**“REMOCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE CROMO TOTAL,  
PROVENIENTES DE LAS AGUAS DE LA ETAPA DE CURTIDO  
EN LA INDUSTRIA DE CURTIEMBRE, EMPLEANDO POLVO DE  
CÁSCARA DE PLÁTANO”**

**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL**

Para optar el Título Profesional de

**INGENIERO AMBIENTAL**

**PRESENTADO POR EL BACHILLER**

ZAMORA CAHUAYA, GERALDIN EVELYN

**Villa El Salvador  
2018**

## **DEDICATORIA**

Dedico este proyecto de investigación a mi madre Marilú Cahuaya y a mi padre Desiderio Zamora, porque pese a todo nunca dejaron de confiar en mí y de brindarme su apoyo incondicional.

A mis hermanitos, porque ellos son el principal motor que tengo para seguir avanzando en mis aspiraciones.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco con total sinceridad a las personas gestoras del desarrollo de esta investigación.

A mis compañeros y amigos de mi querida universidad UNTELS por apoyarme en este camino de mi vida, a mi asesor de trabajo de suficiencia profesional, JULIO CESAR BRACHO PEREZ, por su apoyo con los diferentes mecanismos para poder llevar a cabo este trabajo.

## ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>3</b>
1.1 DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA.....	3
1.2 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA. ....	5
1.3 DELIMITACIÓN DEL PROYECTO. ....	5
1.4 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	8
1.5 OBJETIVOS.....	9
<b>MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>10</b>
2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN. ....	10
2.2 BASES TEÓRICAS.....	13
2.3 DEFINICIONES DE TERMINOS BÁSICOS .....	35
<b>DESARROLLO DEL OBJETIVO DE TRABAJO DE SUFICIENCIA .....</b>	<b>38</b>
3.1 DISEÑO EXPERIMENTAL.....	38
3.2 DESARROLLO DEL DISEÑO EXPERIMENTAL. ....	41
3.3 OBTENCIÓN DE AGUA DE LA ETAPA DE CURTIDO, DE LA INDUSTRIA DE CURTIEMBRE. ....	43
3.4 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL. ....	44
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>59</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>61</b>
<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>62</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>66</b>

## LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de curtiembre. ....	7
Figura 2. Ubicación de la UNTELS. ....	8
Figura 3. Estructura de pectina. ....	32
Figura 4. Proceso de obtención de polvo de cascara de plátano. ....	43
Figura 5. Porcentaje de remoción. ....	49
Figura 6. Porcentaje de remoción promedio con cáscara de plátano. ....	53
Figura 7. Porcentaje de remoción promedio por pH. ....	56
Figura 8. pH final en cada prueba experimental. ....	57

## LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Valores Máximos Admisibles de Cromo .....	5
Tabla 2. Ubicación geográfica de la curtiembre .....	7
Tabla 3. Ubicación geografica de la UNTELS.....	8
Tabla 4. Operaciones del proceso de curtiembre, composición de los efluentes .....	22
Tabla 5. Operaciones del proceso curtiembre,composición de los efluentes y algunas consecuencias.....	26
Tabla 6. Caracterización (CHON) de cáscara de plátano .....	31
Tabla 7. Niveles de estudio del experimento .....	39
Tabla 8. Pruebas en el experimento .....	39
Tabla 9. Diseño experimental .....	40
Tabla 10. Prueba A.....	44
Tabla 11. Prueba B.....	45
Tabla 12. Prueba C.....	45
Tabla 13. Prueba D .....	45
Tabla 14. Porcentaje de Remoción en cada prueba experimental .....	47
Tabla 15. Prueba de tukey.....	48
Tabla 16. Diferencia entre las 4 pruebas .....	49

## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación lleva por título “Remoción de la concentración de Cromo total, provenientes de las aguas de la etapa de curtido de la industria de curtiembre, empleando polvo de cáscara de plátano”, para optar el título de Ingeniera Ambiental.

Nuestro país, a pesar de poseer una gran cantidad de fuente de agua a lo largo del territorio presenta déficit de este importante recurso para la vida y desarrollo de actividades, siendo más afectadas las comunidades alejadas del centro de la ciudad y ubicadas en zonas rurales, muchos pobladores consumen el agua directamente de la fuente, sin prever que en su mayoría estos contienen metales pesados en concentraciones variables con potencial de causar daños irreparables a la salud.

La contaminación de origen industrial es la mayor fuente de contaminación de cuerpos de aguas ya sea de ríos, lagos, lagunas y el mar, puesto que son los receptores de distintos efluentes que contienen una variedad de carga orgánica como inorgánica. Los metales pueden encontrarse de forma natural en aguas no contaminadas dependiendo del tipo de suelo y la geología a lo largo de una corriente superficial y en concentraciones que no representan peligro para la biodiversidad, siendo muchos de éstos necesarios para la vida acuática y para la salud humana. Las actividades antropogénicas como la industria de curtiembre ha incrementado progresivamente la concentración de cromo en sus diferentes especies.

Frente a esta problemática la naturaleza nos brinda la posibilidad de descontaminar naturalmente los cuerpos de agua contaminados ya sea por metales pesados como el cromo, mercurio, plomo, cadmio, zinc, etc., de una forma sencilla, económica y rentable

ambientalmente, mediante el empleo de residuos orgánicos como la cascara de plátano, de la cual hay evidencias contundentes sobre su efecto adsorbente frente a metales pesados como el cromo; la realización del proceso de remoción de cromo total en agua, utilizando polvo de cascara de plátano simboliza un nuevo enfoque para el tratamiento de aguas residuales industriales, además brinda la posibilidad de mejorar la calidad de los efluentes que desembocan tanto en el mar como en ríos.

## CAPÍTULO I

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

#### 1.1 Descripción de la realidad problemática.

El cromo es un elemento que se encuentra de forma natural en el ambiente, forma parte del suelo, rocas, animales y plantas; lo podemos encontrar en sus distintas formas como Cromo (0), Cromo (III), Cromo (VI); siendo el cromo (III) en pequeñas cantidades necesarias para la salud (Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades, 2012). El Cromo es utilizado en distintas actividades dentro de nuestro país, un ejemplo de ello es su utilización en la industria de elaboración de cueros conocida como la industria de curtiembres tanto en pequeña, mediana y gran escala, así como en industrias formales e informales; El proceso de curtiembre da origen a altos volúmenes de efluentes con una diversa carga contaminante tanto orgánicos (restos de piel y carne) como inorgánicos (iones de cromo), En el proceso del curtido son necesarios alrededor de 500 kilos de productos químicos para el procesamiento de una tonelada de cuero crudo, se estima que un 85% de estos, no se incorporan en el

cuero acabado(Lazo, E. 2017). El agente curtiente utilizado es el Sulfato de Cromo  $\text{Cr}(\text{OH})\text{SO}_4$ , el cual produce altas concentraciones de cromo (III) en los efluentes. Puesto que las pieles sólo logran absorber un 60 – 70% de cromo, el 30% - 40% restante es perdido (Rey de Castro, A. 2013) y, al ser eliminado con los efluentes, da lugar a un grave problema ambiental, puesto que en muchos casos los efluentes son liberados sin tratamiento previo hacia las redes de alcantarillado o van a parar directamente a cuerpos de agua dulce

En el Perú, son muchas las regiones donde hay evidencia comprobada de contaminación por curtiembres, tal es el caso de Arequipa, La Libertad y Lima. En Arequipa se han determinado un total de 64 impactos generados por efluentes residuales de la industria de curtiembre, de los cuales el 3% son irrelevantes, el 53 % son moderados, el 41% son severos y el 3 % son críticos (Lazo, E. 2017). Se precisa por tanto que es elevada la cantidad de impactos negativos que se producen por los efluentes generados en la industria de curtiembre, de los cuales casi en su totalidad o el 97% de los impactos producidos son moderados, severos y críticos; demostrando el alto grado de contaminación ambiental que se produce (Lazo, E. 2017).

En el distrito de El Porvenir, provincia de Trujillo, región La Libertad; se tiene que el número de empresas curtidoras asentadas en el distrito es aproximadamente 34, entre ellas el 10% son informales y los impactos generados por estas industrias de curtiembre son generalmente negativos en la descarga de efluentes líquidos que contienen grandes cantidades de Cromo VI y Cromo II (Pinedo, R. 2012).

## 1.2 Justificación del problema

La presente investigación parte de información obtenida de distintas experiencias basadas en la adsorción, remoción y reducción de la concentración de metales pesados en agua, el cromo total y sus especies son perjudiciales para ecosistemas y salud pública, pero se ha demostrado que empleando desechos orgánicos como la cáscara de plátano que típicamente es descartada sin brindarle ningún uso potencial, se puede lograr la descontaminación de efluentes antes de su descarga al mar, al sistema de alcantarillado o hacia algún otro cuerpo de agua, se comparará la concentración de cromo total del efluente proveniente de la etapa de curtido con la legislación nacional referida a los VMA (valores máximos admisibles).

Tabla 1

*Valores Máximos Admisibles de Cromo.*

PARÁMETRO	UNIDAD	EXPRESIÓN	VMA PARA DESCARGAS AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO
Cromo Hexavalente	mg/L	Cr+6	0,5
Cromo Total	mg/L	Cr	10

Fuente: Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento, 2015.

## 1.3 DELIMITACIÓN DEL PROYECTO.

### 1.3.1 Teórica.

En consecuencia de diferentes investigaciones realizadas, basadas en la búsqueda de la remoción de cromo total como la denominada "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”. Castro, P.(2015), muestra evidencias significativas de la posibilidad de remoción de cromo total en aguas contaminadas con este metal pesado; de igual modo también la investigación “Alternativas ambientales para la remoción de cromo hexavalente en residuos líquidos de los laboratorios especializados de la Universidad de Nariño”. Espinosa G. S. y Mera G. A. (2015), además de la “Bioadsorción de Cromo con borra de café en efluentes de una industria curtiembre local”. Lagos, L. K. (2016), por ultimo “Efecto del polvo de cáscara de Musa paradisíaca en la remoción de cromo total de las aguas residuales de INVERSIONES HAROD S.A.C, Trujillo”. Baca, A. O. (2016). Todas ellas evidencian en su ejecución, la posibilidad de remover cromo total en solución, lo cual respalda la investigación presentada.

### **1.3.2 Temporal.**

La investigación fue realizada por un periodo de 96 días, comprendido desde 13/11/2017 hasta el 16/02/2018.

### **1.3.3 Espacial.**

Las muestras de agua de la industria de curtiembre, fueron recolectadas de una curtiembre ubicada en la Mz A, Lt 13, Urb Ubrio, Calle 8, en Carapongo Huachipa.



Figura 1. Ubicación de curtiembre.

Fuente: Extraído de Google Earth.

Tabla 2

*Ubicación geográfica de la curtiembre.*

Zona	18 L
Abscisa	293259.41 m E
Norte	8671729.36 m S
Latitud	-12.009122°
Longitud	-76.898683°

Fuente: Elaboración propia

El procedimiento experimental, fue desarrollado en el laboratorio de química ambiental de la Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur.



Figura 2. Ubicación de la UNTELS.

Fuente: Extraído de Google Earth.

Tabla 3

Ubicación geográfica de la UNTELS.

<b>Zona</b>	<b>18 L</b>
<b>Abscisa</b>	289740.11 m E
<b>Norte</b>	8649023.45 m S
<b>Latitud</b>	-12.214077°
<b>Longitud</b>	-76.932689°

Fuente: Elaboración propia

## 1.4 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.

### 1.4.1 Problema General.

- ¿Es posible la remoción de la concentración de cromo total, provenientes de las aguas de la etapa de curtido en la industria de curtiembre, empleando polvo de cascara de plátano?

#### **1.4.2 Problemas Específicos.**

- ¿Cómo influye la variación del pH, en la remoción de la concentración de cromo total, provenientes de las aguas de la etapa de curtido de la industria de curtiembre, empleando el polvo de la cascara de plátano?
- ¿Cómo influye la variación de la concentración (gramos de polvo de cascara de plátano en un litro de efluente g/l), en la remoción de la concentración de cromo total, provenientes de las aguas de la etapa de curtido de la industria de curtiembre, empleando el polvo de la cascara de plátano?

### **1.5 OBJETIVOS.**

#### **1.5.1 Objetivo General.**

- Remover la concentración de cromo total, provenientes de las aguas de la etapa de curtido en la industria de curtiembre, empleando polvo de cascara de plátano.

#### **1.5.2 Objetivos Específicos.**

- Determinar la influencia del pH, en la remoción de la concentración de cromo total, provenientes de las aguas de la etapa de curtido de la industria de curtiembre, empleando el polvo de la cascara de plátano.
- Determinar la influencia de la concentración (gramos de polvo de cascara de plátano en un litro de efluente g/l), en la remoción de la concentración de cromo total, provenientes de las aguas de la etapa de curtido de la industria de curtiembre, empleando el polvo de la cascara de plátano

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.

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.* (Tesis de maestría) Universidad de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador. En esta investigación se evaluó la capacidad de bioadsorción de Pb (II) y Cr (VI) por la cáscara de banano maduro que desecha la empresa ecuatoriana CONFOCO S.A. Se variaron dos parámetros: el tamaño de partícula de la cáscara de banano (845  $\mu\text{m}$ , 400  $\mu\text{m}$  y 250  $\mu\text{m}$ ) y la cantidad del polvo de cáscara de banano (10, 15 y 20 g/L). El estudio consistió en preparar soluciones con diferentes concentraciones de harina de cáscara de banano con tres diferentes tamaños de partícula, adicionando soluciones de agua sintética de 50 ppm de plomo (II) y 50 ppm de Cr (VI). Durante el proceso de bioadsorción se midió el pH cada 8 horas. Como resultado se obtuvo un porcentaje máximo de

bioadsorción de  $80 \% \pm 1,75$  para el plomo (II) y  $51,2 \% \pm 5,48$  para el cromo (VI). El tiempo de retención hidráulica para los dos metales en estudio fue de 48 horas. Se concluye que el mayor porcentaje de bioadsorción de Cromo (VI) fue con una concentración de 10 g/l de harina de cascara de plátano y a un tamaño de partícula de  $250 \mu\text{m}$ .

Espinosa G. S. y Mera G. A. (2015). *Alternativas ambientales para la remoción de cromo hexavalente en residuos líquidos de los laboratorios especializados de la Universidad de Nariño*. (Tesis de maestría). Universidad de Manizales. Manizales. Colombia. En la mencionada investigación, se evaluaron dos alternativas ambientales para la remoción de Cromo (VI) en residuos líquidos de laboratorio, la fotocatalisis heterogénea empleando  $\text{TiO}_2$  como catalizador y la bioadsorción utilizando cáscara de plátano verde como bioadsorbente. Se utilizó un diseño con 8 ensayos con dos replicas y con niveles alto y bajo, para optimizar las variables pH (1,5), cantidad fotocatalizador (0,5 g) y tiempo de irradiación (60 minutos) para el proceso de fotocatalisis y pH (1,5), cantidad de bioadsorbente (1 g) y tiempo de contacto (60 minutos) para la bioadsorción. Como resultados Se obtuvieron porcentajes de remoción del  $96,07 \pm 0,65$  % para fotocatalisis y del  $99,94\% \pm 0,01$  para el proceso de bioadsorción, partiendo de una concentración de 1.634 mg/L de Cr(VI) en los residuos líquidos, concluyendo como mejor desempeño la bioadsorción con cascara de plátano verde. De igual forma, esta alternativa presentó la mejor viabilidad técnica y ambiental con un 89% comparada con un 62% de la fotocatalisis, así como los menores costos.

Lagos, L. K. (2016). *Bioadsorción de Cromo con borra de café en efluentes de una industria curtiembre local* (tesis de pregrado) Universidad Católica del Perú, Lima, Perú. La presente investigación estudió el uso de la borra de café como bioadsorbente para tratar los efluentes provenientes de una curtiembre local, previo a la realización de la experimentación con el agua de los efluentes de la curtiembre, se realizaron pruebas de pretratamiento básico a la borra de café y a una concentración de 10 ppm de cromo (agua sintética elaborada), estudios de adsorción a distintas concentraciones de pH y tiempo de contacto. Se encontró que a pH 5 y tres horas de adsorción se obtiene un coeficiente de adsorción, de  $9,19 \pm 0,43$  mg/g, En cuanto al pretratamiento de la borra de café, se determinó que el tamaño de grano no afecta considerablemente la capacidad de adsorción y que basta el tratamiento con solución básica y bajo agitación para obtener un máximo coeficiente de adsorción de  $8,51 \pm 0,11$  mg/g. Al realizar las pruebas empleando muestras del efluente de la empresa de curtiembre local cuya concentración de Cr total promedio fue 2462 ppm, dio como resultados una concentración final de Cr total de 158 ppm, es decir, una remoción de 94,1%, concluyendo que si bien la borra de café funciona como adsorbente para remover el metal en solución, no se obtiene una remoción total de este, por lo que es siempre necesario combinarlo con precipitación de cromo de manera previa para adecuar las condiciones para una mejor adsorción.

Baca, A. O. (2016). *Efecto del polvo de cáscara de Musa paradisíaca en la remoción de cromo total de las aguas residuales de INVERSIONES HAROD S.A.C, Trujillo* (tesis de pregrado). Universidad Cesar Vallejo, Trujillo, Perú. En la presente investigación se

evaluó el efecto de la cáscara de *Musa paradisiaca* en la remoción de cromo total concentrado en agua residual de la industria de curtiembre, para lo cual en el proceso de adsorción, se trabajó con tres variables independientes; concentración de polvo de *Musa paradisiaca*, tamaño de partícula y tiempo de contacto; Se trabajó con una muestra de 100 ml añadiendo 1 g, 3 g y 5 g de polvo de *Musa paradisiaca*, a tiempos de contacto de 1 hora y 2 horas, a mallas de 600  $\mu m$  y 420  $\mu m$ , lo que dio como resultado un porcentaje de extracción de 97.81 % de cromo total, para condiciones de 5 g, 2 horas y en malla N° 30 de 600  $\mu m$ . Concluyendo que el polvo de *Musa paradisiaca* es eficiente en la remoción de cromo total.

## **2.2. Bases teóricas.**

### **2.2.1 Contaminación del agua.**

El ciclo natural del agua tiene una gran capacidad de purificación. Pero esta misma facilidad de regeneración del agua, y su aparente abundancia, hace que sea el vertedero habitual en el que arrojamos los residuos producidos por nuestras actividades. Pesticidas, desechos químicos, metales pesados, residuos radiactivos, etc., se encuentran, en cantidades mayores o menores, al analizar las aguas de los más remotos lugares del mundo. Muchas aguas están contaminadas hasta el punto de hacerlas peligrosas para la salud humana, y dañinas para la vida (Echarri, 2007, p.1).

Ibáñez (2012) enuncia lo siguiente. Se entiende por contaminación del agua a la acción o al efecto de introducir algún material o inducir condiciones sobre el agua que, de modo directo o indirecto, impliquen una alteración perjudicial de su calidad en relación a sus usos posteriores o sus servicios ambientales.

### **2.2.2 Contaminación del agua por metales pesados**

La contaminación del medio ambiente por metales pesados es un serio problema mundial que ha atraído la atención de diversos sectores de la sociedad. De particular importancia es la contaminación del agua, ya que este líquido es esencial para la vida de todos los organismos vivos del planeta (Netzahuatl, Pineda, Barragan, y Cristiani, 2010).

### **2.2.3 Metales pesados en aguas residuales**

Las aguas residuales domesticas e industriales contienen una gran carga de contaminantes orgánicos e inorgánicos, estos alteran considerablemente la composición natural de la misma. Los contaminantes orgánicos son degradados por microorganismos habitantes en estas aguas, mientras que los contaminantes inorgánicos entre ellos los metales pesados se transforman en distintas especies y simbolizan un riesgo latente para el ambiente y las personas que tengan un contacto directo o indirecto con ellas.

Dentro de los efluentes líquidos industriales, uno de los contaminantes que afectan más al medio ambiente es el de los metales pesados. Éstos están considerados como uno de los grupos más peligrosos debido a su baja biodegradabilidad, su alta toxicidad a baja concentraciones y su capacidad para acumularse en diferentes organismos (Villanueva, 2006, p. 11).

Las fuentes habituales de las aguas residuales que contienen grandes cantidades de metales como el cromo, cadmio, cobre, mercurio, plomo y zinc proceden, principalmente, de la limpieza de los metales, los recubrimientos, los

curados, el refinado de fosfato y bauxita, y la generación de cloro, la fabricación de baterías y teñidos y Los efectos que provocan sobre el medio ambiente son los siguientes: mortalidad de los peces, envenenamiento de ganado, mortalidad de plancton, acumulaciones en el sedimento de los peces y moluscos (Castro, 2015, p. 49).

#### **2.2.4 Cromo**

Es un elemento químico presente en la naturaleza, su símbolo Cr, su número atómico 24, peso atómico 51.996; es un metal de tonalidad blanco plateado, duro y quebradizo. Sin embargo, es relativamente blando y dúctil cuando no está tensionado o cuando se encuentra muy puro (Ponce, 2016, parr. 1). Ocupa el cuarto lugar entre los 29 elementos biológicamente más importantes de la corteza terrestre. El cromo se encuentra en varios estados de oxidación, siendo los más comunes, el cromo (III) y el cromo (VI) (Téllez, Carvajal y Gaytan, 2004). Sus usos principales son la producción de aleaciones resistentes a la corrosión con alta dureza y resistente como el recubrimiento galvanizado en caliente, conocido como cromado. (Ponce, 2016, parr. 1)

El cromo se encuentra en el ambiente más comúnmente en su forma trivalente Cr (III), hexavalente Cr (VI) y en la forma metálica Cr (0) elemental. El Cr (III) ocurre naturalmente en muchos vegetales, frutas, carnes, granos y levadura. El Cr (VI) y el Cr elemental son generalmente producidos mediante procesos industriales (Albis, Cajar y Domínguez, 2015).

### **2.2.5. Contaminación ambiental con cromo**

El cromo se encuentra en la naturaleza en las rocas volcánicas, es el séptimo elemento más abundante en la Tierra, pero la principal fuente de la contaminación ambiental con cromo es antropogénica. La descarga de efluentes industriales al ambiente es la causa más importante de acumulación de cromo. Los compuestos de cromo(VI) son tóxicos y agentes carcinógenos para una variedad de organismos. Ellos son móviles en los sistemas suelo/agua, mucho más que los compuestos de cromo(III). Esto se debe a que el cromo (VI) es un oxidante fuerte y es muy soluble en sus formas aniónicas, mientras que los compuestos de cromo(III) tienden a formar precipitados inertes cerca de pH neutro. Estas características físicas y químicas de los compuestos de cromo son la causa de la diferente biodisponibilidad y toxicidad entre los compuestos de cromo(VI) y cromo(III) (Iribarren, et al. 2004).

### **2.2.6. Efectos sobre la salud**

Molina, Aguilar y Cordovez (2010) afirman que los efectos adversos del cromo para la salud dependen, especialmente, del grado de valencia de este elemento en el momento de la exposición y de la solubilidad del compuesto. Las únicas formas de importancia en toxicología son el cromo VI y el cromo III. Una exposición de corta duración al cromo III puede causar irritación mecánica en los ojos y en el tracto respiratorio. Si se presenta inhalación se presenta tos.

El cromo (VI) es un peligro para la salud de los humanos, sobre todo para la gente que trabaja en la industria del acero y textil. La gente que fuma tabaco también puede tener un alto grado de exposición a este elemento. El cromo

(VI) es conocido porque causa varios efectos sobre la salud: cuando se encuentra como compuesto en los productos de la piel, puede causar reacciones alérgicas, por ejemplo, erupciones cutáneas; después de ser respirado el cromo (VI) puede causar irritación de la nariz y sangrado de ésta (Molina et al., 2010).

Según el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT, 2017). Los efectos nocivos de los compuestos de cromo se observan generalmente entre las personas que trabajan en lugares donde está presente el Cr (VI), especialmente durante su fabricación o utilización, y afectan principalmente a la piel y al aparato respiratorio. Los riesgos industriales típicos son: la inhalación de polvo y humos procedentes de la fabricación del dicromato a partir del mineral de cromita y de la fabricación de los cromatos de plomo y zinc; la inhalación de nieblas de ácido crómico durante el cromado o el revestimiento de superficies metálicas; y el contacto cutáneo con compuestos de Cr (VI) durante su fabricación o uso. La exposición a humos que contienen Cr VI también puede producirse durante la soldadura del acero inoxidable.

Entre las principales enfermedades ocasionadas por el cromo tenemos úlceras por cromo, dermatitis, efectos respiratorios agudos, ulceraciones del tabique nasal y el más peligroso son sus efectos cancerígenos como el cáncer al pulmón (INSHT, 2017).

### **2.2.7. Industrias de curtiembres**

En la industria de curtiembre, de curtiduría o de tenería se realizan procesos por los cuales las pieles de diferentes animales del tipo vacuno, ovino o porcino son transformadas en cuero.

El proceso de curtiembre tiene como finalidad transformar la piel de un animal en un producto imputrescible y con mejores propiedades. Para esto, la piel pasa por una serie de etapas que la acondicionan y transforman hasta obtener el producto final. Existe un procedimiento general para el proceso que las curtidurías suelen modificar, ya sea alterando la secuencia de etapas a seguir o utilizando diferentes reactivos, para poder diferenciar su producto. Este hecho es muy importante pues, si la diferenciación es efectiva y produce un cuero de alta calidad y buenas propiedades, la curtiduría será más competitiva frente a las demás. Pero, al no existir un proceso estandarizado, no se puede generalizar las propiedades de los efluentes y habrá gran variabilidad en la matriz del efluente de cada empresa de curtido. El proceso general consta de etapas principales: ribera; curtido; recurtido, teñido y engrase; y, secado y acabado (Rey de Castro, 2013, p.1).

Luego de pasar todas las etapas mencionadas el producto final es comercializado, tanto en el mercado interno como externo, donde se termina de dar valor al producto final, ya sea el caso de la industria automotriz, calzado, marroquinería, etc. (Lazo, 2017).

### **2.2.8. Etapas de la industria de curtiembre**

En general, las curtiembres para realizar su proceso productivo utilizan dos factores fundamentales. Lazo (2017) menciona lo siguiente:

- **Materia prima:** Estructura externa del cuerpo de los animales. Es una sustancia heterogénea, generalmente cubierta con pelos o lanas formadas por varias capas superpuestas.
- **Insumos:** En los procesos de curtición se utilizan insumos de origen químico. (p.9)

#### ***2.2.8.1 Etapa de ribera.***

La etapa de ribera comprende aquellos procesos que permiten la eliminación del pelo o lana de la piel. Es la etapa que presenta el mayor consumo de agua y su efluente presenta un elevado pH. Devuelve el estado húmedo inicial a aquellas pieles que se conservaron antes de ser llevadas a la curtiembre; también permite la limpieza y desinfección de éstas antes de comenzar el proceso de pelambre. Este proceso emplea sulfuro de sodio y cal para eliminar la epidermis de la piel además del pelo que la recubre. Antes de comenzar con la etapa de curtido se procede al descarnado y dividido, donde se separan las grasas y carnazas todavía unidas a la parte interna de la piel (Pinedo, 2012, p.11).

### **2.2.8.2. Almacenamiento de pieles.**

Es el lugar destinado al mantenimiento de la piel fresca que llega a la fábrica; es bañada de sal para su conservación y en algunos casos ya viene seco-salada (Lazo, 2017, p.10).

### **2.2.8.3. Remojo.**

Se eliminan de la piel todas las materias extrañas y son disueltas a su estado de hidratación que tenían cuando eran frescas. Consiste en tratarlas con agua adentro de los botaes (máquinas de formas cilíndricas y de madera de gran tamaño), que giran a una velocidad menor para dicha finalidad. Se utilizan humectantes (reducen la tensión superficial del agua facilitando su difusión y la hidratación de la piel), álcalis (para acelerar la rehidratación de la piel como saponificar las grasas), enzimas (tiene una acción selectiva sobre las proteínas solubles de la piel) y bactericidas (evita el desarrollo de bacterias adheridas a la piel) y las pieles al final del remojo serán elásticas, sueltas y limpias. Ministerio de la Producción (PRODUCE, 2016).

### **2.2.8.4. Pelambre.**

“Proceso a través del cual se hincha la epidermis y disolver el pelo utilizando cal y sulfuro de sodio, produciéndose además, al interior del cuero, el desdoblamiento de fibras a fibrillas, que prepara el cuero para la posterior curtición”(Zevallos, 2014, p.18).

#### **2.2.8.5. Descarnado.**

“La operación de descame involucra la remoción de los tejidos adiposos, el sebo adheridos a la cara interna de la piel, tejido subcutáneos y musculares para permitir una penetración más fácil de los productos curtientes” (Zevallos, 2014, p.18).

#### **2.2.8.6. Dividido.**

Se puede hacer en la ribera después del pelambre o después del curtido. Esta operación es exclusiva para producción de vaquetas, consiste en dividir en dos capas la piel hinchada y depilada separando la flor o vaqueta y la camaza que es la parte de la piel que estaba en contacto con la carne del animal. Aquí, además de partir el cuero en dos capas, también se generan piltrafas además de los recortes de la parte inferior (Zevallos, 2014, p.18).

#### **2.2.8.7. Desencalado.**

En esta operación se solubiliza la cal presente y se extrae de la piel por medio de ácidos orgánicos débiles que se combinan con la misma. El primer efecto visible es que la piel se desinfla, dejando las fibras relajadas y en consecuencia se tiene una baja del pH. Entre las sales desencalantes tenemos al sulfato de amonio (decalcificante), bisulfito de sodio (posee buena acción blanqueante por efecto del anhídrido sulfuroso que puede desarrollar). Ministerio de la Producción (PRODUCE, 2016).

Tabla 4

*Operaciones del proceso de curtiente, composición de los efluentes.*

Operación		pH	composición del efluente	consecuencias
Proceso de ribera	Remojo	Neutro, ligeramente ácido o alcalino	Estiércol, suero de sangre, NaCl, CaCO <sub>3</sub> , proteínas solubles, naftalina, tensoactivos y otros preservantes, plaguicidas	Altos niveles de DQO y sólidos suspendidos.
	Pelambre y calero	12 a 14	Pelo, grasas, proteínas, queratina, sulfuros y cal, alto contenido de sólidos suspendidos.	Emisión H <sub>2</sub> S.
	Desencalado y rendido	7 a 8	Sales cálcicas solubles, pigmentos, proteínas solubles, altos contenido de nitrógeno por sales amoniacales.	Emisión NH <sub>3</sub> .
	Piquelado	1 a 3	NaCl, ácidos, biocidas.	Niveles elevados de sólidos disueltos.
	Desengrase	3 a 4	Disolventes, emulsionantes, altas concentraciones salinas, grasas.	Altos niveles de DBO y sólidos suspendidos y disueltos, residuos grasosos.

Fuente: Esparza, E., y Gamboa, N. (2001).

## **2.2.9. ETAPA DE CURTIDO.**

### ***2.2.9.1. Desencalado.***

Proceso donde se remueve la cal y el sulfuro de la piel para evitar posibles interferencias en las etapas posteriores del curtido y en el que se emplean volúmenes considerables de agua. Entre los compuestos químicos que se emplean están los ácidos (sulfúrico, clorhídrico, láctico, fórmico, bórico y mezclas), las sales de amonio, el bisulfito de sodio y detergente (Pinedo, 2012, p.15).

### ***2.2.9.2. Purga enzimática.***

El efecto principal del rendido tiene lugar sobre la estructura fibrosa de la piel, pero existen una serie de efectos secundarios sobre la elastina, restos de queratina de la epidermis y grasa natural de la piel. Su acción es un complemento en la eliminación de las proteínas no estructuradas, y una acción sobre la limpieza de la flor, la que se traduce en lisura de la misma, y le confiere mayor elasticidad (Zevallos, 2014, p. 19).

### ***2.2.9.3. Piquelado.***

Proceso donde se acondiciona la piel para ser curtida, consiste en acidular las pieles en tripa hasta un pH determinado, para reducir el grado de astringencia de los productos curtientes; para lo cual se utiliza una mezcla de sal y ácido fórmico que regula el pH de la piel en tripa ( $\text{pH} < 3$ ), para evitar que las sales de curtiente eleven su gasificación por la

presencia de residuos alcalinos de los procesos de purga y desencalado. Los productos en el piquelado son sal común (NaCl al 6-7%) y ácido fórmico (1.5-2.2%), en cantidades mínimas y calculados en base al peso de la piel en tripa. El cloruro de sodio es para evitar el hinchamiento de la piel y no comprometer el colágeno del cuero, los controles del piquelado están dados las características como el valor final del pH (2.8-3), la medición de la temperatura, concentración de sal y el grado de penetración del ácido usado. Ministerio de la Producción (PRODUCE, 2016).

#### **2.2.9.4. Curtido**

Seguido al piquelado viene el proceso de curtido de la piel, en el cual se utilizan diferentes agentes curtientes que penetran la estructura para estabilizar las fibras de colágeno. Se pueden usar agentes curtientes minerales o vegetales, aunque la producción mundial de cuero utiliza mayoritariamente las sales minerales a base de cromo (sulfato de cromo  $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$ , sulfato básico de cromo  $\text{Cr}(\text{OH})\text{SO}_4$  u óxido de cromo  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ) que hidrolizan en medio acuoso para producir diversas especies dependiendo del pH.

Según la Agencia de Protección Ambiental (EPA, 2006) Las moléculas de los agentes curtientes deben ser capaces no solamente de combinarse con uno de los grupos funcionales de la proteína de la piel, sino por lo menos con dos de ellos que pertenezcan a distintas cadenas, ya que de

acuerdo al tipo de curtiente se puede pensar en enlaces electrovalentes, covalentes, covalentes coordinados, puentes de hidrógeno o uniones bipolares. El curtido permite la conservación de la fibra del cuero y le adiciona ciertas características de morbidez al tacto y elasticidad que son consecuencia de los materiales curtientes y de los métodos de trabajo empleados, el producto obtenido es el cuero wet blue, que es clasificado según su grosor y calidad para su proceso de recurtido, este proceso dura aproximadamente 14 horas. Ministerio de la Producción (PRODUCE, 2016).

En la estabilización del colágeno, las fibras ya no se adhieren tan estrechamente entre sí y la piel adquiere flexibilidad y mayor suavidad (Rey de Castro, 2013, p.6).

Tabla 5

*Operaciones del proceso curtiente, composición de los efluentes y algunas consecuencias.*

	Operación	pH	Composición del efluente	Consecuencias
	Curtición al Cromo	3 a 4	Elevada salinidad, abundancia de sales de cromo, fibras en suspensión, grasas emulsionadas.	Alto contenido de cromo III y otros metales.
Proceso de curtido	Curtido vegetal y sintético	3 a 5	Taninos pirocatequínicos y pirogálicos, fenoles y polifenoles, sales neutras y fibra de cuero.	Disposición de lodos.
	Curtición con aceites y alternativos	10	Aceites oxidados, sales de aluminio, de circonio, de titanio, formaldehído, aceites de bacalao (para gamuza) y glutaraldehídos.	
Acabados	Neutralizado	5 a 6	Sales neutras de cromo	
	Recurtición, tintura y engrase.	4 a 5	Grasas emulsificadas, colorantes sales neutras y recurtientes (de todo tipo).	Descartes de solventes, generación de material particulado atmosférico, sustancias tóxicas orgánicas.

Fuente: Esparza, E., y Gamboa, N. (2001).

#### **2.2.9.5. Procesos mecánicos de post-curtición.**

A continuación del curtido, se efectúan ciertas operaciones mecánicas que propenden a dar un espesor específico y homogéneo al cuero. Según Lazo (2017) estas operaciones son:

#### **2.2.9.6. Escurrido o desaguado.**

Es una operación mecánica que permite quitar gran parte de la humedad del wet blue. El volumen de este efluente no es importante pero tiene un potencial contaminante debido al contenido de cromo y bajo pH, mecánico para eliminar el exceso de humedad, además permite entregarle una adecuada mecanización al cuero para los procesos siguientes. En este proceso se generan residuos líquidos altamente contaminados que sin un previo tratamiento es destinado a la red de desagüe, en este caso al tubo colector. (p.16)

#### **2.2.9.7. Rebajado o partido del cuero.**

En este momento del proceso, se tiene un cuero curtido al cromo, estacionado rebajado y escurrido que aún está húmedo. (p.16)

#### **2.2.9.7. Neutralizado.**

Proceso en el que se le da a la piel una mayor reactividad (mayor capacidad de enlace con colorantes, engrasantes y recurtidores). Asimismo la neutralización debe compensar las diferencias de pH entre diferentes pieles, como ocurre cuando se recurten conjuntamente pieles de diferentes curticiones y especialmente cuando se transforma a wet

blue de distintas procedencias. El cuero curtido al cromo es fuertemente catiónico, justamente se tiene que disminuir esta cationicidad para posteriormente pueda penetrar al cuero los productos utilizados en el proceso (anionicos).Este proceso es importante para que el cuero terminado pueda tener suavidad, fineza en la flor y para la penetración del color, los productos utilizados son de naturaleza alcalina (bicarbonatos, formiatos y neutralizantes sintéticos taponados). Ministerio de la Producción (PRODUCE, 2016).

#### **2.2.9.8. Recurtido.**

Se da al cuero las características requeridas, como la llanura del cuero, una mayor elasticidad, firmeza, excelente llenado y finura de flor. Asimismo se tiene un aumento a la resistencia, al desgarrar, al frenado y aumento de espesor (mayor llenado a través de productos).los factores que influyen en el curtido son la afinidad del pH (regula el atravesamiento de la sección con un potencial sobrecarga de flor), concentración del producto para recurtir ( con respecto al baño, ya que con dosis elevadas se puede tener una acción de agresión), agotamiento, tiempo de rotación del botal, temperatura, velocidad del bombo con respecto al baño. Ministerio de la Producción (PRODUCE, 2016).

### **2.2.9.9. Teñido.**

El teñido se realiza luego de la neutralización en baño que contiene agua, colorantes (natural, artificial o sintético) y ácido fórmico. Este baño se desecha después de cada operación. Los efluentes en esta etapa del proceso son mínimos en comparación al de pelambre y no justifica acción alguna de tratamiento. Los ácidos que contienen sirven para neutralizar el efluente general (Zevallos, 2014, p.23).

### **2.2.10. Etapa de acabado**

#### **2.2.10.1. Engrase.**

Ultimo proceso en fase acuosa en la fabricación del cuero y precede al seco. Si el cuero se seca después del curtido, se hace duro, ya que las fibras se han deshidratado y se han unido entre sí (formando una sustancia compacta). A través del engrase se incorporan sustancias grasas sintéticas, aromáticas y sulfatas, que proporcionan de flexibilidad o lubricación de las fibras, absorción de la humedad, brillo, suavidad, olor y ligereza. Ministerio de la Producción (PRODUCE, 2016).

#### **2.2.10.2. Secado.**

La operación de secado se realiza luego del teñido. Los procesos usados para realizar esta operación son secados al vacío, secado en secotérmicas, empastado o pasting, secado por templado en marcos (Zevallos, 2014, p.24).

### **2.2.10.3. Estiramiento.**

Los cueros pueden ser sometidos a una etapa de estiramiento para recuperar algo del área perdida por su encogimiento durante los procesos en húmedo y esta técnica no sólo se utiliza para ganar área sino también para conferir un tacto parejo ya que por su constitución las faldas son suaves, el cogote duro y se quiere que todo el cuero obtenga la misma suavidad. Es distinto el caso de las suelas. Primero se estira para eliminar las arrugas y pliegues, se aplica óleo luego y se plancha para aumentar su resistencia (Zevallos, 2014, p.24).

### **2.2.10.4. Recortes y acabado.**

Esta operación permite darle un aspecto uniforme al cuero. Genera restos de cuero terminado. En general la etapa de acabado, frecuentemente varía según los requerimientos del mercado, por lo que los insumos a utilizarse dependerán de cada curtiembre en específico (Lazo, 2017, p.19).

## **2.2.11. Cascara de plátano**

### **2.2.11.1. Generalidades de la cáscara de banano.**

La cáscara de banano es un compuesto lignocelulósico compuesta de: celulosa, hemicelulosa y lignina pero su composición varía con el origen del material. La cáscara de banano maduro es el material lignocelulósico, que representa alrededor del 40 % del peso total de la fruta (Monsalve, Medina, & Ruiz, 2006.).

La cáscara de banano cuenta en su composición con elementos capaces de adsorber metales pesados, como el hidroxilo y el carboxilo de pectina. La cáscara de plátano adsorbe los metales por fisisorción, ya que la especie adsorbida (fisisorbida) conserva su naturaleza química, cabe resaltar que la fisisorción es exotérmica y más general que específica. La cáscara de banano es capaz de absorber los contaminantes generados por los fertilizantes agrícolas, que tienen uranio y otros metales radiotóxicos y se filtran a los ríos, mediante un proceso barato, fácil y limpio: la llamada biosorción, que captura el 65% de esos metales contaminantes. (García, 2016, p.16)

Tabla 6

*Caracterización (CHON) de cáscara de plátano.*

PARÁMETRO	CÁSCARA DE PLÁTANO
Carbono, %	36,39
Hidrogeno, %	3,98
Nitrógeno, %	0,69
Azufre, %	0,12
Cenizas, %	7,2
Pectina, %	2,84
Lignina, %	11,18
Celulosa, %	20,9
Hemicelulosa, %	7,92

Fuente: Tejada, tovar, Bolivar y Villabona, (2014)

### 2.2.11.2. Pectinas.

La pectina es un polisacárido de cadena larga que está constituida en su mayor parte por 150- 500 unidades de ácido galacturónico, en su estructura contiene grupos oxidrilos, carboxilos y metoxilo, como se muestra en la figura

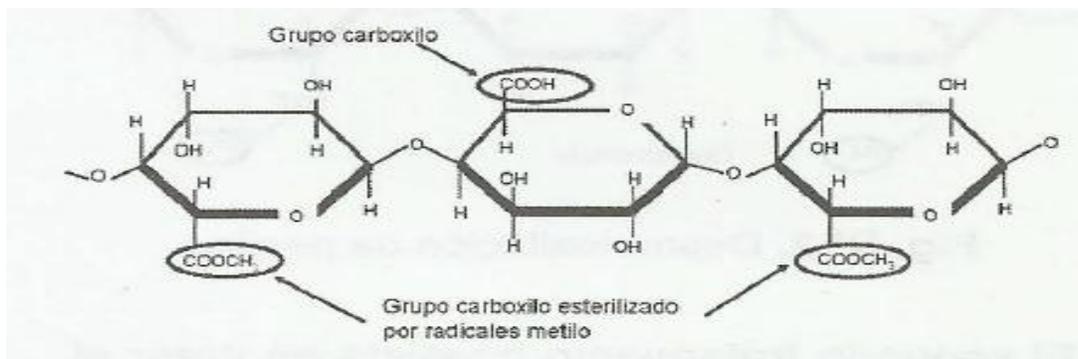


Figura 3. Estructura de pectina.

Fuente: Armijo, J., Rivera, D., y Mallma, G. (2009)

La pectina se considera una cadena poligalacturónica metilada al 100%, el ácido pectínico es la misma cadena poligalacturónica con grupos metoxilos menos al 100% y finalmente el ácido péctico es el ácido poligalacturónico exento de grupos metoxílicos.

Las pectinas se encuentran principalmente en las paredes celulares y los espacios intercelulares de los tejidos vegetales. Están ligadas frecuentemente a la celulosa, especialmente en las paredes celulares bajo la forma de un complejo insoluble en agua llamado "protopectina" (Armijo, Rivera y Mallma, 2009).

### **2.2.12. Influencia del pH en la adsorción**

Siccha (2014) nos menciona lo siguiente:

El pH es uno de los factores con mayor influencia sobre la bioadsorción de metales pesados. El valor de pH de la disolución determina no solo la especiación de la superficie del material, en particular el grado de protonación de los grupos funcionales, sino también la química en disolución de los metales (hidrólisis, complejación por ligandos orgánicos e inorgánicos, reacciones redox, precipitación), que afectará a la disponibilidad del metal para la bioadsorción. Es importante destacar que el pH óptimo es diferente para cada sistema de bioadsorción estudiado, en función, tanto del metal como del bioadsorbente y de la composición de la disolución que contiene el metal a eliminar. En la mayoría de trabajos en los que se ha estudiado el efecto del pH sobre la retención de metales pesados, se ha observado un aumento de la capacidad de adsorción con el aumento del pH. Por lo que respecta a la química de la disolución, este hecho se ha atribuido a una disminución de los efectos competitivos por los centros activos del material entre los protones y el metal. Por otro lado, los valores de pH demasiado elevados pueden ocasionar la precipitación del metal en la disolución, hecho que debe evitarse durante los experimentos de bioadsorción para no sobrestimar la capacidad de adsorción de los materiales estudiados. (p.16)

El valor del pH de la fase acuosa es el factor más importante tanto en la adsorción de cationes como de aniones, siendo el efecto distinto en

ambos casos. Según los señores Kuyucak & Volesky (como se citó Ríos, 2014) Así, mientras que la adsorción de cationes suele estar favorecida para valores de pH superiores a 4,5 la adsorción de aniones prefiere un valor bajo de pH, entre 1,5 y 4.

#### **2.2.13. Efecto de la dosis de Adsorbente en la adsorción**

La cantidad de adsorbente es el factor que va a limitar hasta cierto punto la concentración de metal que se adsorbe, es decir a mayor cantidad de adsorbente, obtendremos una mayor adsorción, pero lo ideal es llegar a una relación de equilibrio, entre la cantidad de adsorbente y la concentración de metal, para un óptimo resultado de adsorción. (Siccha, 2014, p.34)

#### **2.2.14. Efecto de la temperatura en la adsorción**

Estudios anteriores sugieren que al trabajar con biomásas, como las cáscaras de frutas, en la remoción de metales pesados; la influencia de la temperatura al elevarse, causará un cambio en la textura del sorbente y un deterioro del material (las cáscaras de plátano) que disminuirían la capacidad de adsorción (Siccha, 2014, p.36).

#### **2.2.15. Efecto del tiempo de contacto**

A mayor tiempo de retención, más eficiente la remoción de metales pesados (Siccha, 2014, p.36).

## **2.3. Definiciones de términos básicos**

### **2.3.1. pH**

El potencial de hidrógeno o pH, es un parámetro de suma importancia tanto para aguas naturales como aguas residuales. El rango de pH en el cual pueden interactuar los ecosistemas y sobrevivir las especies que lo conforman, está sumamente restringido, por lo cual si este valor es alterado, los procesos biológicos que normalmente se llevan a cabo pueden ser perturbados e inhibidos; y las consecuencias son adversas (García, 2016, p.13).

### **2.3.2. Temperatura**

Es un parámetro físico de suma importancia para los ecosistemas hidráulicos, aunque no es parte de las características de calidad del agua potable. Cuando la temperatura aumenta, disminuye la concentración de oxígeno disuelto y las aguas son deficientes en oxígeno, esto puede ocasionar la muerte de especies acuáticas, especialmente peces. También, la contaminación térmica puede causar trastornos en ecosistemas acuáticos ya que en algunos casos el rango de temperatura de éstos, es sumamente restringido (García, 2016, p.12).

### **2.3.3. Remoción**

La remoción está relacionada a quitar, retirar o sacar algo de su lugar, para la remoción de metales en agua, consiste en retirar de la fase acuosa la presencia de estos con la intervención de adsorbentes.

#### **2.3.4. Adsorción**

La adsorción es la acumulación de moléculas de soluto en la superficie de un sólido. Se distingue entre adsorción física o fisisorción, en la que la especie adsorbida mantiene su forma química original y en la que intervienen atracciones de tipo electrostático y fuerzas de van der Waals; y la adsorción de tipo químico o quimisorción, en la que la especie adsorbida cambia de forma química como consecuencia de su interacción con el sólido. En general, en la adsorción física, la velocidad del proceso global está controlada por las etapas de transferencia de materia, ya que la retención es casi instantánea porque únicamente depende de la frecuencia de colisión y de la orientación de las moléculas. En cambio, si la adsorción es de tipo químico, lo cual implica la formación de enlaces, la etapa de la reacción química puede ser lenta y llegar a controlar el proceso (Ríos, 2014, p.9).

#### **2.3.5. Adsorción física**

Cuando las fuerzas son debido a las fuerzas de Van del Waals como las interacciones tipo dipolo-dipolo, dipolo-dipolo inducido o fuerzas de dispersión, se usa el término de adsorción física o fisisorción, en este tipo de adsorción, la molécula adsorbida no está fija en un lugar específico de la superficie, sino está libre de trasladarse en la interface (Siccha, 2014, p.30).

### **2.3.6. Adsorción química**

Cuando las fuerzas son enlaces covalentes se aplica el término de adsorción química o quimisorción, en este el adsorbato forma enlaces fuertes en los centros activos del adsorbente, se asemeja a una reacción química y requiere una transferencia de electrones entre adsorbente y adsorbato (Siccha, 2014, p.30).

## **CAPÍTULO III**

### **DESARROLLO DEL OBJETIVO DE TRABAJO DE SUFICIENCIA**

#### **3.1 Diseño Experimental**

Esta investigación, ha considerado un diseño del tipo experimental puesto que se realizó en el laboratorio y se estudió el proceso de remoción de la concentración cromo total, provenientes de las aguas de la etapa de curtido de la industria de curtiembre, empleando polvo de cascara de plátano generada dentro del laboratorio para 2 niveles de estudio, en 4 pruebas donde se relacionaron 2 variable independientes (pH, concentración g/l), las 4 pruebas se hicieron por triplicado. El diseño implicó importantes modificaciones al procedimiento realizado por el Dr. Bismark Castro Pastor (2015).

Tabla 7

*Niveles de estudio del experimento*

pH	Concentración de polvo de cascara de plátano en un litro de agua (g/l)
5	20
6	50

Fuente. Elaboración propia

Tabla 8

*Pruebas en el experimento*

Variable de trabajo		Parámetros constantes		
Pruebas	pH	Gramos de polvo de cascara de plátano en un litro de solución (g/l)	Temperatura de Solución (C°)	Tiempo de remoción (horas)
		A	5	20
B	5	50	30 C°	3 h
C	6	20	30 C°	3 h
D	6	50	30 C°	3 h

Fuente. Elaboración propia

**Variable dependiente:**

- Porcentaje de remoción de la concentración de Cromo total, provenientes de las aguas de las aguas de la etapa de curtido, de la industria de curtiembre.

**Variables Independientes:**

- pH
- Concentración del polvo de cascara de plátano en un litro de solución (g/l).

### Parámetros constantes:

- Temperatura: 30C° (temperatura óptima para mayor remoción según García, 2016)
- Tiempo horas: 3 horas ( tiempo de contacto para mayor remoción según Lagos, 2016)

Tabla 9

*Diseño experimental.*

Prueba	Condiciones de trabajo
A	 <p>pH:5 Gramos de cascara de plátano: 2 g Temperatura C°: 30C° Tiempo: 3 h</p>
100 ml de efluente	
B	 <p>pH: 5 Gramos de cascara de plátano: 5 g Temperatura: 30C° Tiempo: 3 h</p>
100 ml de efluente	

C



pH: 6  
Gramos de cascara de plátano: 2 g  
Temperatura: 30C°  
Tiempo: 3 h

100 ml de efluente

D



pH: 6  
Gramos de cascara de plátano: 5 g  
Temperatura: 30C°  
Tiempo: 3 h

---

100 ml de efluente

Fuente: Elaboración propia.

### 3.2. Desarrollo del diseño experimental

#### 3.2.1. Elaboración del polvo de cascara de plátano

Para la elaboración de polvo de cascara de plátano, fue necesario adquirir 30 plátanos seda maduros (*Musa paradisiaca*), cada cascara de plátano tenía un peso aproximado de 70 gramos, motivo por el cual se tuvo un peso inicial de 2,1 kilos; las etapas desarrolladas son las siguientes:

## **Secado**

El secado de las 30 cascaras de plátano fue realizado en la estufa del laboratorio de química ambiental de la Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur, este se realizó siguiendo la metodología del doctor Bismarck Castro (2015), quienes indican realizar el secado a 105 C° durante un periodo de 10 horas.

## **Molienda**

Posterior al secado de la cascara de plátano, realizó la molienda de las 30 cascaras, como paso previo se las trituró de modo manual para reducir su tamaño (con la finalidad de una mejor molienda), se utilizó un molidor de semillas, el molino fue regulado al diámetro más pequeño y fue necesario moler hasta tres veces las cáscara de plátano para obtener una textura de polvo.

## **Cernido**

Se decidió cernir el material molido con ayuda de un colador de doble malla, esto con la finalidad de eliminar partículas con espesor irregular.

## **Almacenado**

Posterior a la molienda y al cernido del polvo de cascara de plátano obtenido, se realizó el almacenamiento en un recipiente de vidrio completamente limpio y con tapa hermética hasta el momento de su utilización.

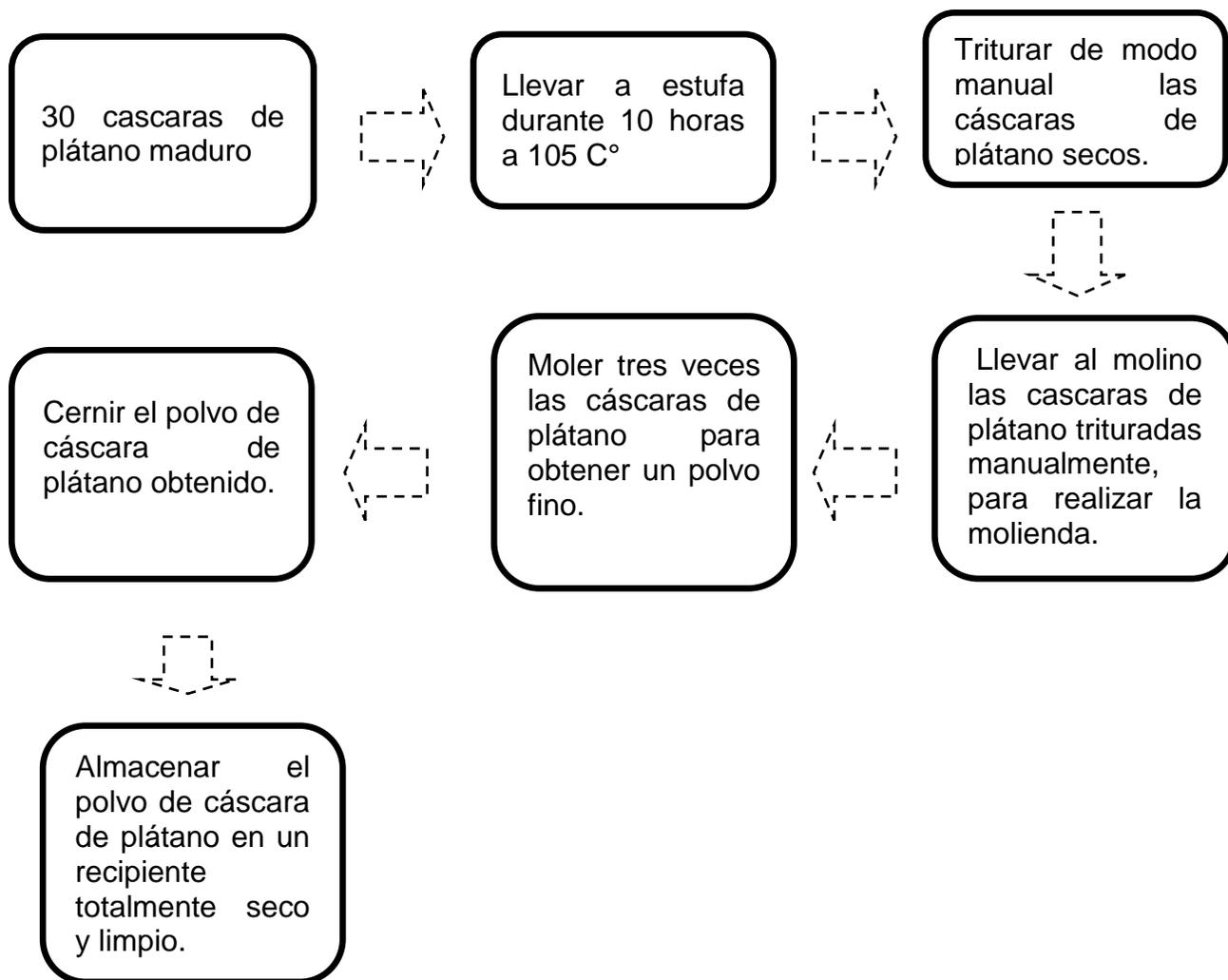


Figura 4. Proceso de obtención de polvo de cascara de plátano.

Fuente: Elaboración propia.

### 3.3 Obtención de agua de la etapa de curtido, de la industria de curtiembre

El agua utilizada en la experimentación, fue obtenida específicamente de la etapa de curtido del proceso de la industria de curtiembre, puesto que este punto donde se utiliza como agente curtiente el sulfato de cromo  $\text{Cr}(\text{OH})\text{SO}_4$ .

Al agua procedente de la etapa de curtido, se le agregó ácido nítrico con la finalidad de obtener un pH de 2 (según protocolo de monitoreo del ANA), la muestra inicial fue

enviada a un laboratorio para ser analizada y poder conocer la concertación inicial de cromo a remover en el experimento.

### 3.4. Procedimiento experimental

#### 3.4.1. Tratamiento del efluente de la etapa de curtido

El efluente proveniente de la etapa de curtido de la industria de curtiembre será ajustado a 2 diferentes pH con Hidróxido de Sodio (NaOH), el primero se ajustará a pH 5 por mostrar evidencia en remoción de Cromo total (Lagos, L. 2016) y el segundo a pH 6 por mostrar evidencia de remoción de cromo total hasta en un 51,2 % (Castro, P. 2015).

#### 3.4.2. Pesos de polvo de cáscara de plátano

Con ayuda de la balanza analítica se procederá a pesar 2 g y 5 g de polvo de cascara de plátano respectivamente para las 4 pruebas experimentales, los pesos serán por triplicado para las 4 pruebas establecidas.

#### 3.4.3. Pruebas experimentales

Tabla 10

*Prueba A*

Prueba A	Volumen de agua del efluente	Gramos de polvo de cáscara de plátano	pH ajustado del efluente	Temperatura a C°	Tiempo
A <sub>1</sub>	100 ml	2g	5	30 C°	3 h
A <sub>2</sub>	100 ml	2g	5	30 C°	3 h
A <sub>3</sub>	100 ml	2g	5	30 C°	3 h

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 11

*Prueba B*

Prueba B	Volumen de agua del efluente	Gramos de polvo de cáscara de plátano	pH ajustado del efluente	Temperatura C°	Tiempo
B <sub>1</sub>	100 ml	5g	5	30 C°	3 h
B <sub>2</sub>	100 ml	5g	5	30 C°	3 h
B <sub>3</sub>	100 ml	5g	5	30 C°	3 h

Fuente: Elaboración propia

Tabla 12

*Prueba C*

Prueba C	Volumen de agua del efluente	Gramos de polvo de cáscara de plátano	pH ajustado del efluente	Temperatura C°	Tiempo
C <sub>1</sub>	100 ml	2g	6	30 C°	3 h
C <sub>2</sub>	100 ml	2g	6	30 C°	3 h
C <sub>3</sub>	100 ml	2g	6	30 C°	3 h

Fuente: Elaboración propia

Tabla 13

*Prueba D*

Prueba D	Volumen de agua del efluente	Gramos de polvo de cáscara de plátano	pH ajustado del efluente	Temperatura a C°	Tiempo
D <sub>1</sub>	100 ml	5g	6	30 C°	3 h
D <sub>2</sub>	100 ml	5g	6	30 C°	3 h
D <sub>3</sub>	100 ml	5g	6	30 C°	3 h

Fuente: Elaboración propia

## **MATERIALES Y EQUIPOS**

### **MATERIALES:**

- 12 Erlenmeyer.
- Pipeta graduada de 1ml.
- Propipeta.
- Papel filtro.
- Embudos de vidrio.
- Tapas de goma.
- Espátula.
- Cernidor.
- Polvo de cascara de plátano.
- Magnetos de laboratorio.
- 12 botellas de plástico de 120 ml.

### **EQUIPOS:**

- Balanza analítica.
- Medidor de pH.
- Agitador magnético
- Estufa.
- Equipo de absorción atómica.
- Molino

### 3.4.3. Resultados

Tabla 14

*Porcentaje de remoción en cada prueba experimental.*

Pruebas	[ ] inicial Cr ppm	[ ] final Cr ppm	Desviación estándar	Porcentaje % de remoción	Porcentaje % de remoción promedio
	A	6330	± 40,42	7,65	
A	A	6410	± 40,42	6,49	7,02
	A	6380	± 40,42	6,92	
	B	6020	± 189,03	12,18	
B	B	5940	± 189,03	13,34	14,32
	B	5660	± 189,03	17,43	
	C	6020	± 475,11	12,18	
C	C	5160	± 475,11	24,72	20,15
	C	5240	± 475,11	23,55	
	D	5880	± 234,31	14,22	
D	D	6270	± 234,31	8,53	12,47
	D	5850	± 234,31	14,66	

Fuente: elaboración propia.

Para realizar el análisis de los resultados del diseño experimental se utilizó la técnica estadística ANOVA en la cual estableceremos la siguiente pregunta y 2 hipótesis (alterna y nula).

**¿Existe una diferencia estadísticamente significativa en el promedio de remoción de la concentración de cromo total en las 4 pruebas experimentales?**

- **Hipótesis nula:** El promedio de remoción de la concentración de cromo total en las 4 pruebas experimentales es igual.
- **Hipótesis alterna:** En al menos una prueba experimental el promedio de la remoción de la concentración de cromo total tiene diferencia significativa.
- **Nivel de significancia:** 0,05
- **Confiabilidad:** 95%

De la prueba ANOVA se obtiene lo siguiente:

- Valor de prueba F: 5.197
- Valor de P: 0.028

Como el valor de significancia es 0,05 y el valor P obtenido es menor ( $0,028 < 0,05$ ), por lo tanto se rechaza la hipótesis nula (El promedio de remoción de la concentración de cromo total en las 4 pruebas experimentales es igual) y aceptaremos la hipótesis alterna (En al menos una prueba experimental el promedio de la remoción de la concentración de cromo total tiene diferencia significativa) con un 95% de confiabilidad.

Para identificar en que grupos existe diferencia significativa, se realizó la prueba de **TUKEY**, donde se obtuvo lo siguiente.

Tabla 15

*Prueba de tukey*

Prueba de TUKEY	
HSD=	737.430573
Multiplicador=	4.53
MSe=	79500
n=	3

Fuente: Elaboración propia

Tabla 16

Diferencia entre las 4 pruebas

	A	B	C	D
A		500	900	373.333333
B			400	- 126.666667
C				- 526.666667
D				

Fuente: elaboración propia.

En la prueba TUKEY se evidencia una diferencia significativa en la remoción de la concentración de cromo total entre los grupos de prueba A y C, siendo la prueba C la que alcanza una mayor remoción de la concentración de cromo total como se observa en la siguiente tabla.

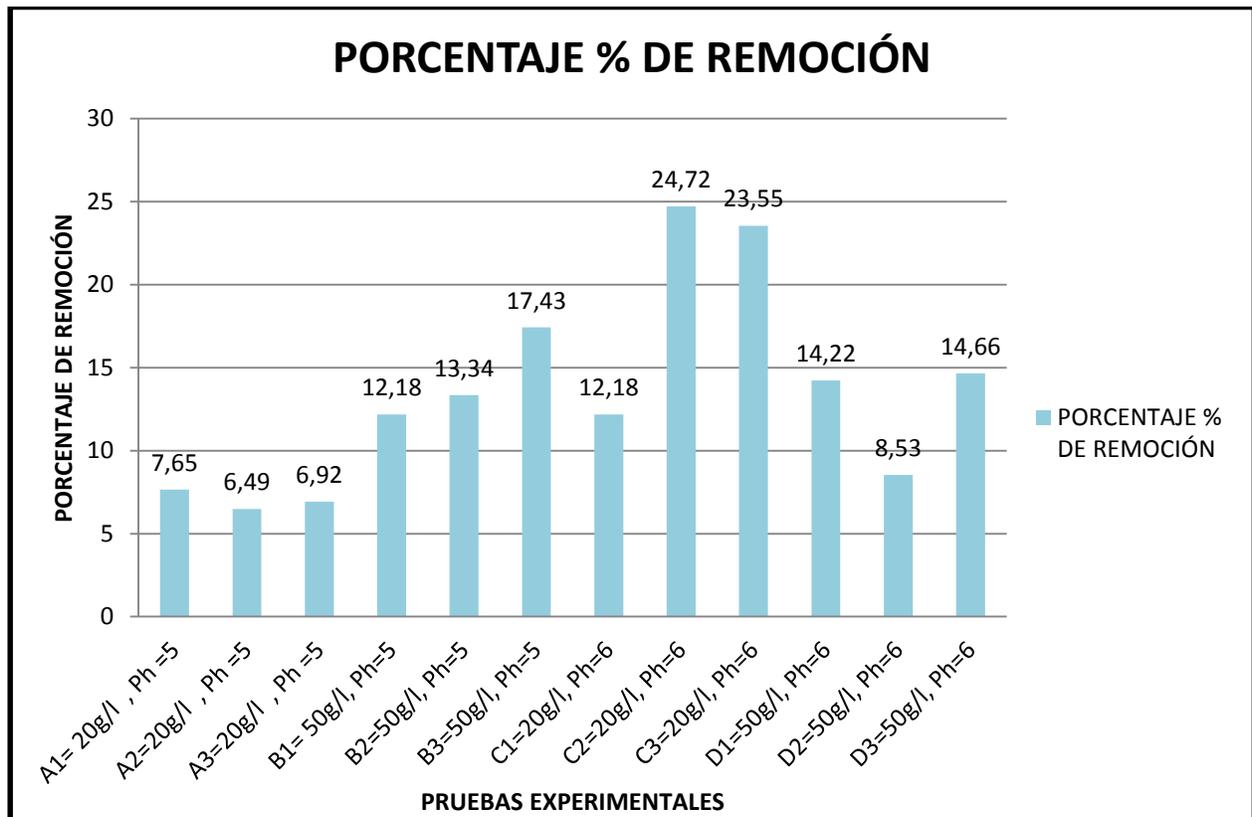


Figura 5. Porcentaje de remoción.

Fuente: Elaboración propia.

### **3.4.3.1. Discusión de resultado.**

Se puede observar en la figura los porcentajes de remoción de cromo total por cada prueba experimental, dentro de la prueba A( A1, A2, A3) se obtuvo como mayor porcentaje de remoción a 7,65%; dentro de la prueba B(B1, B2, B3), se obtuvo como mayor porcentaje de remoción a 17,43 %; dentro de la prueba C(C1, C2, C3), se obtuvo como mayor porcentaje de remoción a 24,72% y dentro de la prueba D(D1, D2, D3), se obtuvo como mayor porcentaje de remoción A 14,22% en un tiempo de contacto de 3 horas en cada prueba.

El máximo porcentaje de remoción alcanzado es 24,72 % a 20 g/l, a un pH inicial de 6 y se encuentra dentro de la prueba C (C2), siendo un valor menor que en 50% al compararlo con la investigación de 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.* Quien obtuvo 51,2% de remoción a 10 g/l de polvo de cascara de plátano y a una concentración inicial de 50 mg/l de cromo en agua sintética, esta diferencia significativa se debe a la procedencia del agua trabajada en la experimentación, para la investigación citada se trabajo con agua sintética (agua destilada contaminada con sales de cromo a una concentración de 50 ppm) con lo cual se tiene a los iones de cromo como único adsorbato en la solución, en comparación con el efluente de la etapa de curtido

trabajado en la presente investigación, por su procedencia no solo se puede encontrar iones de cromo sino que también se encuentran iones de otros metales como sodio (Na), iones de calcio (Ca) que competirán por las superficies de adsorción del polvo de cáscara de plátano puesto que pertenecen al grupo de alcalinos y alcalinos térreos respectivamente que son más reactivos que los metales de transición a donde pertenece el cromo, lo cual limita la remoción de cromo del efluente, además la concentración inicial de cromo en la investigación citada es de 50 ppm que involucra una menor saturación del adsorbente, mientras que en la investigación realizada tuvo una concentración inicial de 6855 ppm que saturará al adsorbente, por último el pH de experimentación para Castro, B. (2015) con el que se alcanzó mayor remoción empieza en 6,9 y desciende hasta 5,4 lo cual implica la ocurrencia de precipitación.

Mientras que la investigación de las señoritas Espinosa G. S. y Mera G. A. (2015). *Alternativas ambientales para la remoción de cromo hexavalente en residuos líquidos de los laboratorios especializados de la Universidad de Nariño*. Obtuvieron un porcentaje de bioadsorción de cromo de 99,94% que supera notablemente a los 24,72% de remoción obtenidos en la presente investigación, dichos resultados se debe a que el trabajo realizado por Espinosa G. S. y Mera G. A. partió de una concentración inicial de 1.634 mg/l o 1.634 ppm de cromo en residuos líquidos de laboratorio, con lo cual se tiene mayor disponibilidad de área en la superficie del adsorbente (cáscara de plátano) para una

concentración pequeña, mientras que el trabajo presentado se realizó con una concentración de 6588 ppm de cromo total, que supera notablemente a la investigación citada y la cual satura al adsorbente.

En el ámbito nacional tenemos a Lagos, L. K. (2016). *Bioadsorción de Cromo con borra de café en efluentes de una industria curtiembre local*. Obtuvo un porcentaje de remoción de 94,1% para una concentración de efluente de curtido de 2462 ppm trabajando un pH de 6 a 7. La investigación mencionada si trabajó con un efluente real proveniente de la etapa de curtido, pero la concentración del efluente fue menos al que se trabajó en la presente investigación, además el pH ajustado en la investigación citada es de ácido a neutro, lo cual involucra precipitación del ión de cromo III, con lo que se contribuye a una mayor remoción de cromo total en el agua adicional al de la remoción con borra de café.

Por último tenemos a Baca, A. O. (2016). *Efecto del polvo de cáscara de Musa paradisíaca en la remoción de cromo total de las aguas residuales de INVERSIONES HAROD S.A.C, Trujillo*. Obtuvo un porcentaje de remoción de un porcentaje de extracción de 97.81 % de cromo total para una concentración inicial de 1187.3 ppm de cromo en efluente de curtiembre.

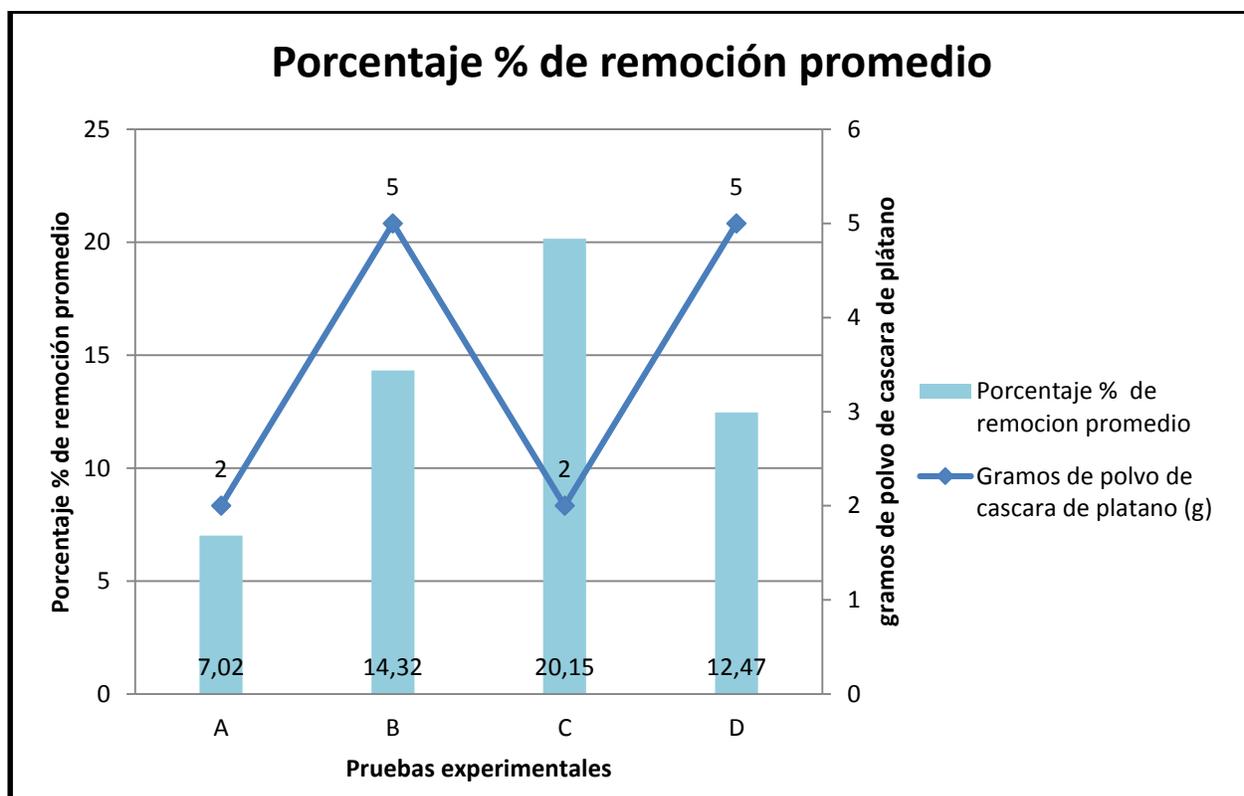


Figura 6. Porcentaje de remoción promedio con cáscara de plátano.

Fuente: Elaboración propia.

### 3.4.3.2. *Discusión de resultados.*

Según la figura, se observa que el mayor porcentaje de remoción promedio de cromo total es de 20,15 % y se alcanza dentro de la prueba experimental C, en esta prueba se trabajó a una concentración de 20 g/l de polvo de cascara de plátano, llegando a utilizar 2 gramos en 100 ml de efluente de la etapa de curtido de cuero, en la investigación de Castro, B. (2015) se menciona que el mayor porcentaje de remoción de cromo (51.2 %) se alcanza utilizando 10 g/l de polvo de cascara de plátano que representa la mitad de lo utilizado en la presente investigación (20 g/l),

podemos interpretar que la investigación citada alcanzó un mayor porcentaje de remoción porque en el agua contaminada sintéticamente con sales de cromo, no se encuentra un ion metálico que compita con los iones de cromo por el área de la superficie de adsorción del adsorbente(polvo de cascara de plátano), todo lo mencionado si ocurre en el efluente de la etapa de curtido de la investigación realizada, puesto que aquí si hay presencia de otros iones metálicos producto de procesos anteriores a la etapa de curtido, además que la concentración de cromo total en este efluente es de 6855 ppm y la remoción de metales pesados con adsorbentes orgánicos está recomendada para concentraciones bajas del metal.

Al tomar como referentes a Espinosa G. S. y Mera G. A. (2015). Se comprueba que el mayor porcentaje de remoción de cromo total se obtiene al utilizar 20 g/l de polvo de cascara de plátano en la solución, pero la diferencia significativa en los porcentajes de remoción alcanzados se debe a que el trabajo realizado por Espinosa G. S. y Mera G. A. (2015) partió de una concentración inicial de 1.634 ppm en cromo total y esta investigación partió de una concentración de 6855 ppm de cromo total, con lo cual podemos asegurar que la concentración del metal pesado a trabajar es limitante para alcanzar un mayor porcentaje de remoción, verificamos nuevamente que la adsorción con materiales orgánicos logra un mayor efecto al trabajarse con concentraciones bajas del metal.

El trabajo realizado por Baca, A. O. (2016). Encontró que empleando 50 g/l de polvo de cáscara de plátano en solución, se obtiene una mayor remoción de cromo total (97,81%) para una concentración inicial de cromo de 1187.3 ppm, mientras que en esta investigación se obtiene un porcentaje de remoción promedio de cromo total de 20.15% para una concentración inicial de 6855 ppm de cromo total, la razón de la diferencia de los porcentajes de remoción estaría basada en la procedencia de los efluentes, mientras que Baca, A. O. (2016), utiliza el efluente de la etapa final de todos los procesos de la industria de curtiembre, lo cual implica disminución de la concentración de cromo total, además de disminución de la concentración de otros iones metálicos que compiten con los iones de cromo por las superficie de adsorción del adsorbente (polvo de cáscara de plátano), nuevamente se comprueba que a menor concentración del metal pesado mayor será el porcentaje de remoción.

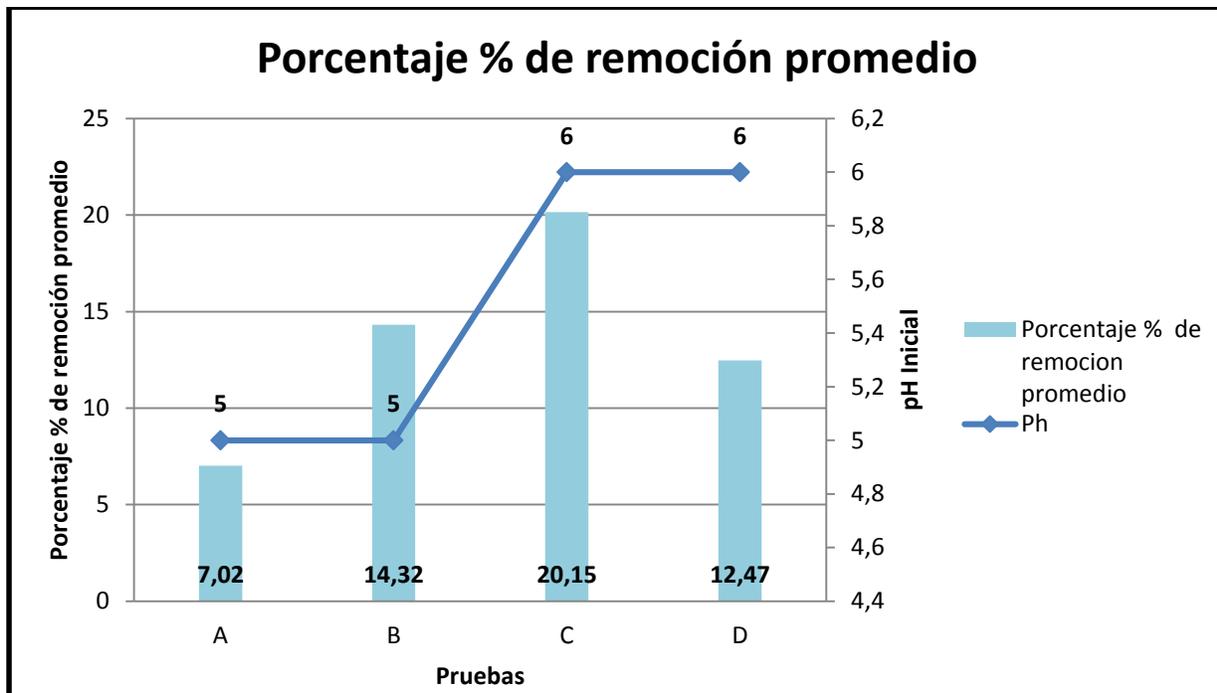


Figura 7. Porcentaje de remoción promedio por pH.

Fuente: elaboración propia

### 3.4.3.3. Discusión de resultados

El mayor porcentaje de remoción promedio de cromo total es de 20,15% que corresponde a la prueba experimental C y que fue trabajada a un pH de 6, este resultado corrobora lo demostrado por Lagos, L. K. (2016). *Bioadsorción de Cromo con borra de café en efluentes de una industria curtiembre local*. Quien trabajó a un pH 6 para remover cromo total de un efluente de la etapa de curtido, obteniendo así un mayor porcentaje de remoción, la investigación de 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*, Trabajó a un pH de 6,9 que desciende

hasta 5,4 en el cual alcanza un porcentaje de remoción de 51,2 % para cromo.

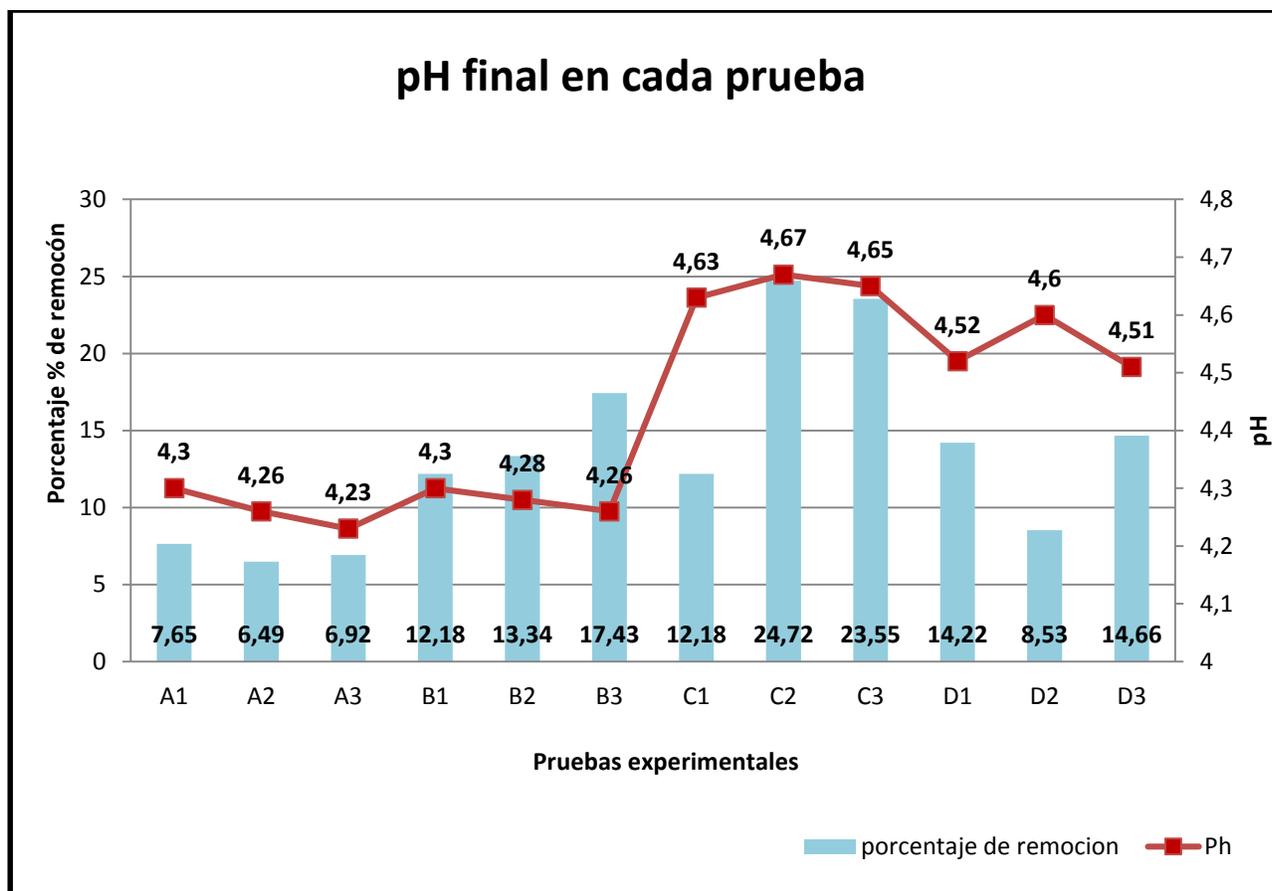


Figura 8. pH final en cada prueba experimental.

Fuente: Elaboración propia

### 3.4.3.4. Discusión de resultados

En la figura 8, se muestra los pH finales para cada prueba experimental trabajadas a una temperatura constante de 30 C° y un tiempo de contacto de 3 horas, los pH iniciales de trabajo fueron ajustados a 5 para las pruebas A (A1, A2, A3), B (B1, B2, B3) y a 6 para las pruebas C (C1, C2, C3), D (D1, D2, D3); el ajuste realizado fue siguiendo lo mencionado por

señores Kuyucak & Volesky (como citó Ríos, 2014) quienes mencionan que la adsorción de cationes suele estar favorecida para valores de pH superiores a 4,5; se puede observar que el mayor porcentaje de remoción se da en la prueba experimental C2 donde se obtiene un 24,72 % y donde se trabajó a un pH inicial de 6 que desciende hasta 4,67 que corrobora lo enunciado por Kuyucak & Volesky; la disminución del pH en las pruebas experimentales se debe a que los adsorbentes orgánicos se hidrolizan a pH bajos, además el grupo carboxilo se disocia en agua, originando un ion carboxilato y un protón con lo cual se acidifica la solución.

## CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos en la presente investigación, se comprobó la posibilidad de remover la concentración de cromo total, provenientes de las aguas de la etapa de curtido en la industria de curtiembre, empleando polvo de cascara de plátano como material removedor, el porcentaje de remoción promedio máximo alcanzado fue de 20,15% obtenido dentro de la prueba experimental C, a pesar que el porcentaje de remoción alcanzado no fue tan elevado como en los antecedentes citados se podría optimizar el proceso para mejorar los resultados obtenidos.

Se concluye que la variable pH, si tiene influencia en el proceso de remoción de la concentración de cromo total, provenientes de las aguas de la etapa de curtido de la industria de curtiembre, en esta investigación se obtuvo un mayor porcentaje de remoción trabajando a un pH inicial de 6 que descendió hasta 4,67 que representa un intervalo aceptable para la remoción, según los señores Kuyucak & Volesky (como citó Ríos, 2014) mencionan que la adsorción de cationes(iones de cromo) suele estar favorecida para valores de pH superiores a 4,5. Se concluye que el descenso de Ph es debido a la hidrolisis que experimenta el polvo de cascara de plátano al entrar en contacto con agua.

Se infiere que la influencia de la concentración (gramos de polvo de cáscara de plátano en un litro de efluente g/l) en la remoción de la concentración de cromo total, provenientes de las aguas de la etapa de curtido de la industria de curtiembre, se encuentra limitada por la concentración de cromo total en el efluente y de otros iones

metálicos que competirán por la superficie de adsorción del adsorbente, se concluye que a mayor gramos de polvo de cáscara de plátano no necesariamente habrá mayor remoción del metal de interés, según lo demostrado por esta investigación que obtiene mayor remoción empleando 2 gramos de polvo de cáscara de plátano en 100 ml de efluente (20 g/l) que utilizando 5 gramos de polvo de cascara de plátano en 100 ml de efluente (50 g/l).

Se demostró que la remoción de cromo total, provenientes de la etapa de curtido de la industria de curtiembre, es producto de la interacción de las variables independientes trabajadas (pH y concentración g/l), además de los parámetros fijados como tiempo de contacto(3h) y temperatura de trabajo (30C°), con lo cual se logró remover el cromo total del efluente alcanzando un porcentaje de remoción promedio de 20,15%, al comparar la concentración final del cromo total en la prueba experimental C ( 5160 ppm) con los Valores Máximos Admisibles (VMA) aún se continua superando a una distancia abismal a lo establecido por la legislación nacional (10 mg/l) que equivale a 10 ppm.

## RECOMENDACIONES

Se debe realizar estudios más profundos sobre la remoción de la concentración de cromo total en efluentes reales de la industria de curtiembre, principalmente en la etapa de curtido, debido a que es en esta donde se dónde utilizan sales de cromo para fijar el colágeno en el cuero, lo que conlleva a la formación de iones de cromo (Cr VI y Cr III), que resultan potencialmente dañinos para salud humana y el ambiente que lo rodea.

En la toma de muestras del efluente de la etapa de cutido se debe realizar siguiendo el protocolo establecido en R. J 010 – 2016 – ANA, el cual indica que la muestra debe ser recolectada en un frasco de polietileno, además conservar la muestra agregando  $\text{HNO}_3$ , con la finalidad de conocer la concentración inicial del metal pesado en estudio.

Evaluar el potencial de remoción de otros residuos orgánicos en búsqueda de una alternativa más eficaz en la remoción de cromo total en los efluentes dela industria de curtiembre.

## BIBLIOGRAFIA

- Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. (2012). *Resumen de Salud Pública Cromo*. Recuperado de [https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es\\_phs7.html](https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs7.html)
- Armijo, J., Rivera, D., y Mallma, G. (2009). Biosorción de Cr (VI) por cascara de limón, Citrus Limonium, modificada. *Revista peruana de química*, 12(1), 45-51.
- 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*. (Tesis de grado). Universidad de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador.
- Baca, A. (2016). *Efecto del polvo de cáscara de Musa paradisiaca en la remoción de cromo total de las aguas residuales de INVERSIONES HAROD S.A.C., Trujillo* (tesis de pregrado). Universidad Cesar Vallejo, Trujillo, Perú.
- Benitez, L., Tejada, C., Marimon, W., y Villabona, A. (2014). Estudio de modificación química y física de biomasa (citrus sinensis y musa paradisiaca) para la adsorción de metales pesados en solución. *Revista luna azul* (39), 124-142.
- Echarri, L. (2007). *Tema 8 contaminación del agua*. Recuperado de <http://www.unav.es/ocw/.../Tema%208%20Contaminacion%20del%20agua%2007.pdf>
- Esparza, E., y Gamboa, N. (2001). CONTAMINACION DEBIDA A LA INDUSTRIA DE CURTIEMBRE. *Revista de química*, XV (1), 41-61.

- Espinosa, G., & Mera, G. (2015). *Alternativas ambientales para la remoción de cromo hexavalente en residuos líquidos de los laboratorios especializados de la Universidad de Nariño*. (Tesis de grado). Universidad de Manizales, Manizales, Colombia.
- García, A. (Ed). (2016). *Elaboración de una biorresina intercambiadora de cationes a partir de cáscara de plátano o guineo para eliminar metales pesados en agua contaminada*. La Libertad, El Salvador: Editorial ITCA Editores,
- Ibañez Esquivel, G. (2012). *Elaboración de un plan de manejo ambiental para la conservación de la sub cuenca del río San Pablo en el cantón la Maná, provincia de Cotopaxi* (Tesis de pregrado). Universidad Técnica de Cotopaxi, Cotopaxi, Ecuador.
- Iribarren, M., Ortiz, N., Piccinna, M. y Valiente, L. (2004). *Determinación de cromo (VI) en muestras ambientales. Estudio comparativo de diferentes medios para su separación y preconcentración*. Instituto Nacional de Tecnología industrial (INTI). Argentina.
- Lagos, L. (2016). *Bioadsorción de cromo con borra de café en efluentes de una industria curtiembre local*. (tesis de pregrado). Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.
- Lazo, E. (2017). *Evaluación de la contaminación ambiental generada por efluentes industriales en el proceso productivo de una curtiembre de mediana capacidad del parque industrial de Río Seco, Arequipa*.(tesis de pregrado). Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa.

- Ministerio de Producción. (2016). *Informe Técnico Legal N° 689*. Recuperado de <http://www2.produce.gob.pe/dispositivos/publicaciones/rd0266-2016-produce-diggam.pdf>
- Netzahuatl, A., Pineda, G., Barragan, B. & Cristiani, E. (2010). Evaluación de la cáscara del aguacate para la remoción de cromo hexavalente y cromo total de soluciones acuosas. *Revista CENIC. Ciencias Químicas*, 41, 1-10. Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/1816/181620500025.pdf>
- Palacios, A. (2014). *Determinacion del nivel de filtración que tiene la cascara de platano, para reducir metales pesados en agua residual en la empresa Weatherford, canton Francisco de Orellana, periodo 2014*.(tesis de pregrado).Universidad Tecnica de Cotopaxi, Latacunga, Ecuador.
- Pinedo, R. (2012). *Impactos ambientales generados por la curtiembre D-LEYSE, en el distrito del Porvenir, provincia Trujillo, región la Libertad*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María, Perú.
- Siccha, A. (2014). *Diseño de un biofiltro a base de alga roja cochayuyo (chondracanthus chamissoi) para la remoción de cromo de efluente de la industria de curtido*. (tesis de grado). Universidad Nacional del Callao, Callao, Perú.
- Rey de Castro, A. (2013).*Recuperación de cromo (III) de efluentes de curtido para control ambiental y optimización del proceso productivo* (tesis de pregrado). Pontificia Universidad Catolica del Perú, Lima, Perú.

- Rios, P. (2014). *Cinética de adsorción de arsénico utilizando cascara de banana maduro en polvo*.(tesis de pregrado). Universidad Técnica de Machala, Machala, Ecuador.
- Villanueva, C. (2006). *Bioadsorción de cobre (II) por biomasa pretratada de cascara de Citrus Sinensis (naranja), Citrus Limonium (limón) y Opuntia Ficus (palmeta de nopal)* (Tesis de grado).Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.
- Zevallos, J. (2014). *Determinación de parámetros fisicoquímicos en efluentes industriales de curtiembres de la asociación de pequeñas y medianas empresas de curtiembres, fabricas de cola y derivados de cuero (APYMECO)-Parque industrial de rio seco (PIRS), Cerro colorado – Arequipa. 2013.* (tesis de pregrado). Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa.

## **ANEXOS**

A. Tambores utilizados en la industria de curtiembre.



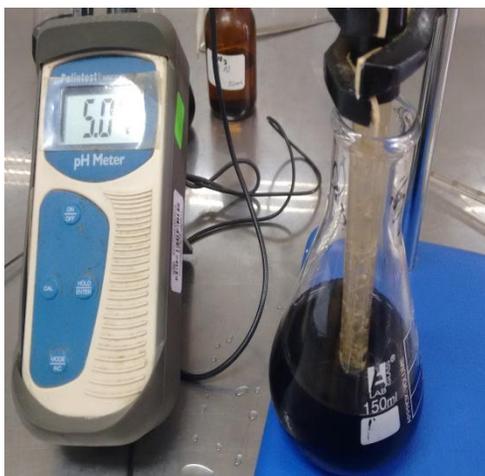
B. Toma de muestras del efluente en la etapa de curtido.



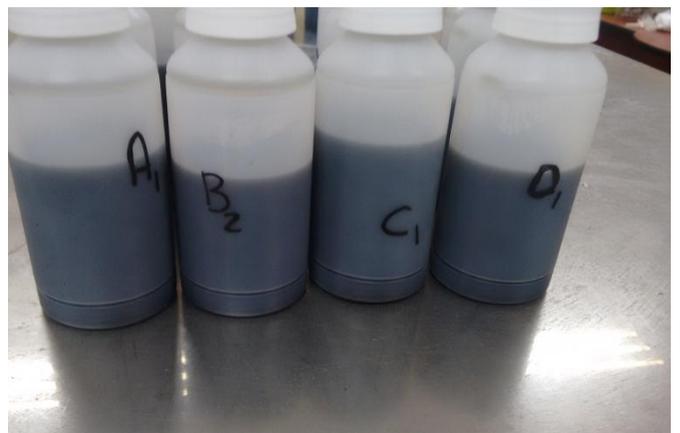
C. Proceso de obtención de polvo de cascara de plátano.



D. Materiales y equipos utilizados.



## E. Procedimiento experimental.



F. Prueba de ANOVA en Excel.

Análisis de varianza de un factor

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuent a</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Columna 1	3	19120	6373.333333	1633.33333 3
Columna 2	3	17620	5873.333333	35733.3333 3
Columna 3	3	16420	5473.333333	225733.333 3
Columna 4	3	18000	6000	54900

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	1239600	3	413200	5.197	0.028	4.066
Dentro de los grupos	636000	8	79500			
Total	1875600	11				

G. Informe de análisis de concentración inicial de cromo total en el efluente de la etapa de curtido.

	<b>UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA</b> FACULTAD DE AGRONOMIA LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES										
<b>INFORME DE ANALISIS ESPECIAL</b>											
SOLICITANTE	:	GERALDIN ZAMORA CAHUAYA									
PROCEDENCIA	:	LIMA									
MUESTRA DE	:	AGUA DE CURTIEMBRE									
REFERENCIA	:	H.R. 62465									
BOLETA	:	1297									
FECHA	:	22/02/18									
<table border="1" data-bbox="380 1003 808 1121"><thead><tr><th>N° LAB</th><th>CLAVES</th><th>Cr. ppm</th></tr></thead><tbody><tr><td>1086</td><td>C1+</td><td>6800.0</td></tr><tr><td>1087</td><td>C2+</td><td>6910.0</td></tr></tbody></table>			N° LAB	CLAVES	Cr. ppm	1086	C1+	6800.0	1087	C2+	6910.0
N° LAB	CLAVES	Cr. ppm									
1086	C1+	6800.0									
1087	C2+	6910.0									
 Dr. Sady García Bendejú Jefe de Laboratorio											
<hr/> <p>Av. La Molina s/n Campus UNALM Telf.: 614-7800 Anexo 222 Teléfono Directo: 349-5622 e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe</p>											

H. Informe de análisis de concentración final de cromo total posterior al desarrollo experimental.



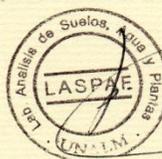
UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA  
FACULTAD DE AGRONOMIA  
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



### INFORME DE ANALISIS ESPECIAL

SOLICITANTE : GERALDIN ZAMORA CAHUAYA  
PROCEDENCIA : LIMA  
MUESTRA DE : AGUA DE CURTIEMBRE  
REFERENCIA : H.R. 62464  
BOLETA : 1297  
FECHA : 22/02/18

Nº LAB	CLAVES	Cr. ppm
1074	01	5880.0
1075	03	6270.0
1076	03	5850.0
1077	A1	6330.0
1078	A2	6410.0
1079	A3	6380.0
1080	B1	6020.0
1081	B2	5940.0
1082	B3	5660.0
1083	C1	6020.0
1084	C2	5160.0
1085	C3	5240.0



Dr. Saúl García Bendezu,  
Jefe de Laboratorio

Av. La Molina s/n Campus UNALM  
Telf.: 614-7800 Anexo 222 Teléfono Directo: 349-5622  
e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe