



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

ESTUDIO DE ADSORCIÓN DE CROMO (III) DE AGUAS RESIDUALES DE  
CURTIEMBRES CON LA UTILIZACIÓN DE COMPOST.

Autor

Juan Carlos Miranda Urrutia

Año  
2018



FACULTAD DE INGENIERIA Y CIENCIAS APLICADAS

Estudio de adsorción de Cromo (III) de aguas residuales de curtiembres con la  
utilización de compost.

Trabajo de Titulación presentado en conformidad con los requisitos  
establecidos para optar por el título de Ingeniero Ambiental en Prevención y  
Remediación

Profesor Guía

MSc. Daniel Hernán Hidalgo Villalba

Autor

Juan Carlos Miranda Urrutia

Año

2018

## **DECLARACIÓN DEL PROFESOR GUÍA**

“Declaro haber dirigido este trabajo, Estudio de adsorción de Cromo (III) de aguas residuales de curtiembres con la utilización de compost, a través de reuniones periódicas con el estudiante Juan Carlos Miranda Urrutia, en el semestre 2018-2, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación”.

---

Daniel Hernán Hidalgo Villalba

Magister en Ciencias Especialización Ingeniería Ambiental

C.I: 1801914449

## **DECLARACIÓN DEL PROFESOR CORRECTOR**

“Declaro haber revisado este trabajo, Estudio de adsorción de Cromo (III) de aguas residuales de curtiembres con la utilización de compost, del estudiante Juan Carlos Miranda Urrutia, en el semestre 2018-2, dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación”.

---

Miguel Ángel Gualoto Oñate

Magister en Ciencias Biológicas

C.I:1707429351

## **DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE**

“Declaro que este trabajo es original, de mi autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes”.

---

Juan Carlos Miranda Urrutia

C.I:1804058889

## **Agradecimientos**

Octavio y Eugenia,

Soy todo lo que soy por ustedes.

Gracias de todo corazón.

Anita,

Cómplice de mis locuras.

## **Dedicatoria**

Donde quieras que estés hermano,  
siempre te pensaré.

## RESUMEN

El presente trabajo de titulación muestra el estudio de adsorción de Cromo ( $Cr^{+3}$ ) de aguas residuales de curtiembres con la utilización de compost. Para ello, se realizó la caracterización fisicoquímica de 3 marcas diferentes de compost y se seleccionó "Agropesa", el cual fue el más adecuado basándose en la cantidad total de fibra (lignina y holocelulosa), compuestos que se consideran responsables de la capacidad adsorbente del compost.

Para la determinación de la isoterma que se ajuste al proceso, se realizaron pruebas Batch en equipo de Test de jarras, utilizando agua preparada con Sulfato Básico de Cromo, que es el agente curtiente utilizado en el proceso de curtido al Cromo. Se trabajó con tres concentraciones diferentes de cromo en el agua (500, 1000, 1500 ppm) y tres cantidades diferentes de fibra (10, 25, 50 gramos) de la marca "Agropesa", que corresponde a 17.5, 43.76 y 87.52 gramos de compost respectivamente.

Del procesamiento de datos, el modelo Redlich-Peterson, que corresponde a una isoterma combinada de Langmüir y Freundlich, fue el que mejor se ajusta al equilibrio de adsorción.

Finalmente se realizaron pruebas en dos columnas de lecho fijo con la utilización de 30 cm de compost como material adsorbente y con el agua residual del proceso de curtido al Cromo de la Tenería Inca, que pasaba a través de las columnas con un caudal de 40ml/min, presentando una concentración de cromo residual de 9997.097 ppm, obteniéndose la correspondiente curva de ruptura. El tiempo de saturación del lecho en estas condiciones fue de aproximadamente 10 minutos, obteniéndose una remoción de 87.16% de cromo.

## ABSTRACT

The present research work shows the study of chromium adsorption ( $Cr^{+3}$ ) of wastewater from tanneries with the use of compost. To develop this, it was necessary to conduct a physico-chemical characterization of three different compost brands where "Agropesa" was selected since it was the most adequate based on the amount of fiber (lignin and holocellulose), these compounds are considered to be responsible for the adsorbent capacity of the compost.

For the isotherm determination to be adjusted to the process, Batch tests were applied on jar test equipment, using water prepared with Basic Chromium Sulphate which is the tanning agent used in the Chromium tanning process. It was necessary to work with three different concentrations of chromium in water (500, 1000, 1500 ppm) and three different amounts of fiber (10, 25, 50 grams) of the brand "Agropesa", which corresponds to 17.5, 43.76 and 87.52 grams of compost respectively.

From data processing, the Redlich-Peterson model, which corresponds to a combined isotherm of Langmüir and Freundlich, was the one that best fits the adsorption equilibrium.

Finally, tests were carried out on two columns of fixed bed with the use of 30 cm of compost as adsorbent material and with the residual water of the tanning process to the Chromium of the Tannery Inca, which passed through the columns with a flow of 40ml / min, presenting a residual chromium concentration of 9997,097 ppm, obtaining the corresponding rupture curve. The saturation time of the bed under these conditions was approximately 10 minutes, obtaining a removal of 87.16% chromium.

# ÍNDICE

1.	Introducción .....	1
1.1.	Antecedentes .....	1
1.2.	Objetivos .....	2
1.2.1.	Objetivo General. ....	2
1.2.2.	Objetivos específicos. ....	2
1.3.	Alcance .....	2
1.4.	Justificación.....	2
2.	Marco Teórico .....	4
2.1	Marco Legal .....	4
2.1.1.	Ley Orgánica de Salud.....	4
2.1.2.	Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente .....	4
2.1.3.	Código Orgánico Ambiental .....	5
2.1.4.	Ordenanza Municipal, Prevención y control de contaminación ambiental en el Cantón Ambato.....	6
2.2.	Proceso de Curtido.....	7
2.3.	Etapas del proceso de curtiembres .....	7
2.3.1.	Diagrama de flujo del Proceso de Curtiembre .....	7
2.3.2.	Recepción de materias primas.....	8
2.3.3.	Remojo.....	9
2.3.4.	Pelambre.....	10
2.3.6.	Desencalado .....	10
2.3.7.	Descarnado y Desengrasado.....	11
2.3.8.	Piquelado .....	11
2.3.9.	Curtido al Cromo .....	12
2.3.10	Curtido con agentes vegetales .....	13
2.3.11	Secado.....	14
2.3.12	Recurtido .....	14
2.3.13.	Engrase y Teñido.....	14
2.4.	Aguas residuales: efluente total y efluente por procesos. ....	15

2.5. Cromo .....	16
2.5.1. Contaminación con Cromo.....	16
2.6. Adsorción .....	17
2.6.1. Generalidades de los materiales adsorbentes .....	17
2.7. Compost.....	18
2.7.1. Proceso de Compostaje.....	19
2.8. Isotermas de adsorción .....	19
2.8.1. Clasificación de isotermas .....	20
2.9. Curvas de ruptura.....	21
3. Metodología.....	22
3.1. Area de Muestreo.....	22
3.2. Caracterización del agua residual. ....	22
3.3. Caracterización de cromo por método colorimétrico.....	25
3.3.1. Preparación de la solución EDTA (ácido etilendiaminotetraacético) (0.08M).....	25
3.4. Curva de Calibración .....	25
3.5. Determinación fisicoquímica del compost.....	26
3.5.1. Humedad .....	26
3.5.2. Cenizas .....	27
3.5.3. Determinación de lignina klason .....	28
3.5.4. Determinación de Holocelulosa .....	29
3.5.5. Determinación de Celulosa .....	30
3.5.6. Determinación de Hemicelulosa: .....	31
3.6. Pruebas de Adsorción Batch para la Determinación de Isotermas.....	32
3.7. Determinación de las curvas de ruptura con el agua residual de curtido de la industria de cuero. ....	32
3.7.1. Construcción de las columnas .....	32
3.7.2. Preparación de los lechos adsorbentes .....	33
3.7.3. Construcción de la curva de ruptura .....	34
3.7.4. Porcentaje de remoción .....	35

4.	Resultados y discusión.....	35
4.1.	Caracterización del agua residual .....	35
4.2.	Curvas de Calibración .....	36
4.3.	Caracterización de compost .....	38
4.4.	Resultados de las Isotermas .....	40
4.4.1.	Isoterma Lineal .....	40
4.4.2.	Isoterma de Langmüir .....	43
4.4.3.	Isoterma de Freundlich: .....	45
4.4.4.	Isoterma de Redlich-Peterson:.....	47
4.5.	Curva de ruptura .....	51
4.5.1.	Porosidad.....	51
4.5.2.	Densidad aparente.....	52
4.5.3.	Mediciones en las columnas de lecho fijo .....	52
4.6.	Cálculo de la eficiencia de remoción. ....	56
5.	Conclusiones y Recomendaciones .....	57
5.1.	Conclusiones.....	57
5.2.	Recomendaciones.....	57
	REFERENCIAS.....	59
	ANEXOS .....	64

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Límites de descarga al sistema de alcantarillado público .....	4
<b>Tabla 2:</b> Concentraciones de contaminantes entre curtido vegetal y curtido al cromo .....	13
<b>Tabla 3:</b> Características de efluentes de curtiembre por operación o proceso. ....	15
<b>Tabla 4:</b> Descripción de la empresa Tenería “Inca” .....	22
<b>Tabla 5:</b> Proceso de preparación de las muestras para el análisis según las normas NTE INEN 2169: .....	22
<b>Tabla 6:</b> Métodos utilizados en el análisis de agua de curtiembre.....	24
<b>Tabla 7:</b> Resultados del Laboratorio Certificado .....	35
<b>Tabla 8:</b> Resultado de la Absorbancia en el espectrofotómetro a 590nm.....	36
<b>Tabla 9:</b> Cantidad de Absorbancia en concentraciones de 1 a 10 gr/l.....	37
<b>Tabla 10:</b> Concentración en el equilibrio ( $C_{eq}$ ) respecto a q en Isoterma Lineal.....	40
<b>Tabla 11:</b> <i>Análisis de Regresión Lineal</i> .....	42
<b>Tabla 12:</b> Análisis de Varianza de la Isoterma Lineal .....	42
<b>Tabla 13:</b> Estadístico T-Student de la Regresión Lineal .....	43
<b>Tabla 14:</b> Concentración en el equilibrio ( $C_{eq}$ ) respecto a q en Isoterma de Langmüir .....	43
<b>Tabla 15:</b> Análisis de Regresión Langmüir .....	44
<b>Tabla 16:</b> Análisis de Varianza de la Isoterma Langmüir .....	45
<b>Tabla 17:</b> Estadístico T-Student de la Regresión Langmüir.....	45
<b>Tabla 18:</b> Concentración en el equilibrio ( $C_{eq}$ ) respecto a q en Isoterma de Freundlich.....	46
<b>Tabla 19:</b> <i>Análisis de Regresión Freundlich</i> .....	46
<b>Tabla 20:</b> <i>Análisis de Varianza de la Isoterma Freundlich</i> .....	47
<b>Tabla 21:</b> <i>Estadístico T-Student de la Regresión Freundlich</i> .....	47
<b>Tabla 22:</b> <i>Concentración en el equilibrio (<math>C_{eq}</math>) respecto a q en Isoterma de Redlich-Peterson</i> .....	48
<b>Tabla 23:</b> Análisis de Regresión Redlich-Peterson.....	49
<b>Tabla 24:</b> Análisis de Varianza de la Isoterma Redlich-Peterson. ....	49
<b>Tabla 25:</b> Estadístico T-Student de la Regresión Redlich-Peterson. ....	50
<b>Tabla 26:</b> Mediciones de absorbancia en columnas de lecho fijo .....	52
<b>Tabla 27:</b> Concentración en mg/l de cromo del promedio de las mediciones en el lecho fijo .....	54

## **1. Introducción**

### **1.1. Antecedentes**

El agua es una fuente esencial y principal para todos los seres vivos en la tierra. La pequeña cantidad de agua superficial y subsuperficial disponible está altamente contaminada debido a actividades humanas inadecuadas (Pavithra, Kumar, Christopher, & Saravanan, 2017). Los desechos industriales son la fuente más común de contaminación del agua en la actualidad sobre todo por la carga orgánica y metales pesados que llevan consigo (Ogedengbe & Akinbile, 2004).

En el caso de los metales pesados, estos son elementos metálicos que tiene una densidad relativamente alta, son tóxicos o venenosos, aun en bajas concentraciones (Lenntech, s.f). Según Duruibe, Ogwuegbu, & Ekwurugwu, los metales pesados se liberan al ambiente por causas naturales o por actividades industriales y mineras. Uno de los metales liberados es el Cromo, que ejerce efectos tóxicos sobre los ecosistemas; sin embargo, el Cr III se considera vital para el metabolismo del ser humano en bajas concentraciones, pero al convertirse en Cr VI mediante reacciones fisicoquímicas, provoca alteraciones en la salud (Benitez, 2011).

La industria de curtiembre es una de las fuentes más importantes de cromo (Khan, Khwaja, Khan, & H Ghani, 1999). La producción de cuero, asociada a la industria textil y artesanal es muy antigua y contribuye al desarrollo económico, pero es una importante fuente de contaminación (Elabbas et al., 2015).

El proceso de curtido en los últimos años se ha tecnificado, lo cual ha intensificado el impacto ambiental, ya que en las distintas etapas se desprenden contaminantes como sólidos en suspensión, sulfuros y metales pesados, principalmente el cromo. El incremento de la cantidad de lodos aumenta, lo que dificulta la remediación de las aguas residuales provenientes de la curtiembre (Esparza & Gamboa, 2001).

En el Cantón Ambato, el sector de curtiembre es de gran importancia y representa un gran aporte económico para el desarrollo del país; sin embargo y pese a la implementación de técnicas de producción amigables que mitigan los impactos ambientales; es necesario la innovación en procesos sustentables que mejoren el nivel de competitividad del sector de curtiembre (Santana, 2016).

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Objetivo General.**

Diseñar un tratamiento para la adsorción de Cromo III de aguas residuales de curtiembres mediante la utilización de compost.

### **1.2.2. Objetivos específicos.**

- Caracterizar fisicoquímicamente el agua residual del objeto de estudio, como también el compost que será utilizado como material adsorbente.
- Evaluar la potencialidad del compost como adsorbente en soluciones acuosas a diferentes concentraciones de Cromo III.
- Analizar la capacidad de adsorción de cromo III en el compost aplicada al agua residual proveniente del proceso de curtido.

## **1.3. Alcance**

El presente estudio tiene como alcance establecer la eficiencia del compost como adsorbente de Cromo (III) del agua residual de la “Tenería Inca”, para la disminución de la contaminación del agua en el proceso de curtido al Cromo, a partir de la determinación de isotermas de adsorción con aguas preparadas en el laboratorio a diferentes concentraciones de Cr III, y luego la determinación de la capacidad de adsorción del cromo utilizando el agua residual en un lecho fijo de compost, a fin de determinar la correspondiente curva de ruptura.

## **1.4. Justificación**

El ambiente se ve afectado por la contaminación a causa de las curtiembres al consumir el 32% del cromo total en el mundo, el cual al ser arrojado al ambiente puede acumularse en el suelo o transformarse en el ambiente (Benitez, 2011). Cada año, la industria de la curtiembre produce más de 300 millones de toneladas de aguas residuales y 64.320 toneladas de lodo en el mundo (Chávez, Godinez, & Hernandez, 2014).

La contaminación en los ríos ha incrementado en los años con la expansión industrial en zonas aledañas a los mismos, cuyas aguas residuales contienen gran cantidad de contaminantes que afectan a la calidad del agua. Se registra que las curtiembres pertenecientes a la provincia de Tungurahua arrojan al río Ambato  $1.925 \text{ m}^3$  de aguas residuales al día, es decir, más del 60% de efluentes que emiten las principales industrias de la ciudad (Vera, 2000).

El agua residual de las industrias de curtiembres tiene contaminantes expresados en términos de demanda biológica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), sólidos suspendidos, nitrógeno, conductividad, sulfatos, sulfuros y cromo (Mondal, Saxena, & Singh, 2005). Los efluentes de las curtiembres son difíciles de tratar mediante procesos biológicos y fisicoquímicos tradicionales. (Mella, Carvalho, Silva, & Gutterres, 2017). Por ello deben ser tratados antes de que sean descargados a las aguas superficiales, dependiendo de las condiciones económicas y geográficas las curtidurías pueden tratar aguas residuales en el sitio, descargar directamente al alcantarillado o la combinación de estas opciones (Khalifaouy, y otros, 2016).

Pese al significativo avance tecnológico en innovación de procesos para la remoción de cromo de los efluentes de las curtiembres, no es suficiente, pues se encuentran establecidos en términos extremadamente generales lo que complica su ejecución, siendo una de las barreras para la aplicación de proyectos, a esto se suma los rubros que son costosos (Arauzo, Rivera, Valladolid, Noreña, & Cedenilla, 2003), por eso es importante encontrar una alternativa económica que pueda remover dicho contaminante de las aguas.

## **2. Marco Teórico**

### **2.1 Marco Legal**

Existe un marco regulatorio que las empresas que se dedican a procesos de curtiembre deben cumplir, principalmente para evitar el impacto ambiental y en la salud de las personas. Entre los cuerpos legales y normativas podemos mencionar a:

#### **2.1.1. Ley Orgánica de Salud.**

**Art. 103.-** Se prohíbe a toda persona, natural o jurídica, descargar o depositar aguas servidas y residuales, sin el tratamiento apropiado, conforme lo disponga en el reglamento correspondiente, en ríos, mares, canales, quebradas, lagunas, lagos y otros sitios similares.

**Art. 104.-** Todo establecimiento industrial, comercial o de servicios, tiene la obligación de instalar sistemas de tratamiento de aguas contaminadas y de residuos tóxicos que se produzcan por efecto de sus actividades (Ley Orgánica de Salud, N°423, 2006).

#### **2.1.2. Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente**

##### **Libro XI Anexo I: Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua**

#### **4.2 Criterios generales para la descarga de efluentes**

**4.2.1.1** El regulado deberá mantener un registro de los efluentes generados, indicando el caudal del efluente, frecuencia de descarga, tratamiento aplicado a los efluentes, análisis de laboratorio y la disposición de los mismos, identificando el cuerpo receptor. Es mandatorio que el caudal reportado de los efluentes generados sea respaldado con datos de producción.

Tabla 1.

*Límites de descarga al sistema de alcantarillado público*

<b>Parámetro</b>	<b>Expresado como</b>	<b>Unidad</b>	<b>Límite máximo permisible</b>
<b>Cromo hexavalente</b>	Cr <sup>+6</sup>	mg/l	0.05

#### **4.2.2 Normas de descarga de efluentes al sistema de alcantarillado público**

**4.2.2.1** Se prohíbe descargar en un sistema público de alcantarillado, cualquier sustancia que pudiera bloquear los colectores o sus accesorios, formar vapores o gases tóxicos, explosivos o de mal olor, o que pudiera deteriorar los materiales de construcción en forma significativa (Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente, N°2, 2003).

#### **2.1.3. Código Orgánico Ambiental**

**Art. 191.-** Del monitoreo de la calidad del aire, agua y suelo. La Autoridad Ambiental Nacional o el Gobierno Autónomo Descentralizado competente, en coordinación con las demás autoridades competentes, según corresponda, realizarán el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire, agua y suelo, de conformidad con las normas reglamentarias y técnicas que se expidan para el efecto.

Se dictarán y actualizarán periódicamente las normas técnicas, de conformidad con las reglas establecidas en este Código.

Las instituciones competentes en la materia promoverán y fomentarán la generación de la información, así como la investigación sobre la contaminación atmosférica, a los cuerpos hídricos y al suelo, con el fin de determinar sus causas, efectos y alternativas para su reducción.

## **CAPITULO IV**

### **MONITOREO Y SEGUIMIENTO**

**Art. 208.-** Obligatoriedad del monitoreo. El operador será el responsable del monitoreo de sus emisiones, descargas y vertidos, con la finalidad de que estas cumplan con el parámetro definido en la normativa ambiental. La Autoridad Ambiental Competente, efectuará el seguimiento respectivo y solicitará al operador el monitoreo de las descargas, emisiones y vertidos, o de la calidad de un recurso que pueda verse afectado por su actividad. Los costos del monitoreo serán asumidos por el operador. La normativa secundaria establecerá, según la actividad, el procedimiento y plazo para la entrega, revisión y aprobación de dicho monitoreo (Código Orgánico del Ambiente, N°983,2017).

#### **2.1.4. Ordenanza Municipal, Prevención y control de contaminación ambiental en el Cantón Ambato**

**Art. 53.-** Criterios generales de descarga de efluentes. -

- Se descargarán los efluentes previamente tratados, tanto al sistema de alcantarillado como a los cuerpos de agua.
- Los límites permisibles de descarga de los contaminantes en el cantón Ambato, tanto a un cuerpo de agua o receptor, sistema de alcantarillado, se establecerá en el respectivo reglamento.
- En los casos en los que se concedan derechos de aprovechamiento de aguas con fines múltiples, los criterios de calidad para el uso de aguas corresponderán a los valores más restrictivos para cada referencia.

**Art. 60.-** Se prohíbe descargar sustancias o desechos peligrosos (líquidos - sólidos-semisólidos) fuera de los estándares permitidos, hacia el cuerpo receptor, sistema de alcantarillado y sistema de aguas lluvias.

**Art. 55.-** La presente Ordenanza determina los parámetros de descarga, tanto al sistema de alcantarillado, como a los cuerpos de agua. El regulado deberá mantener un registro de los efluentes generados, indicando el caudal del efluente, frecuencia de descarga, tratamiento aplicado a los efluentes, análisis de laboratorio y la disposición de estos, identificando el cuerpo receptor

(Ordenanza Municipal: Prevención y control de contaminación ambiental en el Cantón Ambato, N°517,2015).

## **2.2. Proceso de Curtido**

Podemos definir como el proceso en el que las pieles son transformadas a un material llamado cuero con características como fuerza y flexibilidad, dentro de la industria de curtido se utilizan principalmente pieles provenientes de ganado ovino y bovino. Según la (CIIU) Clasificación Industrial Internacional Uniforme las actividades relacionadas a curtido de cuero se encuentran en la categoría C-1511 correspondiente “Curtido y adobo de cueros; adobo y teñido de pieles” (MAE, 2013).

## **2.3. Etapas del proceso de curtiembres**

### **2.3.1. Diagrama de flujo del Proceso de Curtiembre**

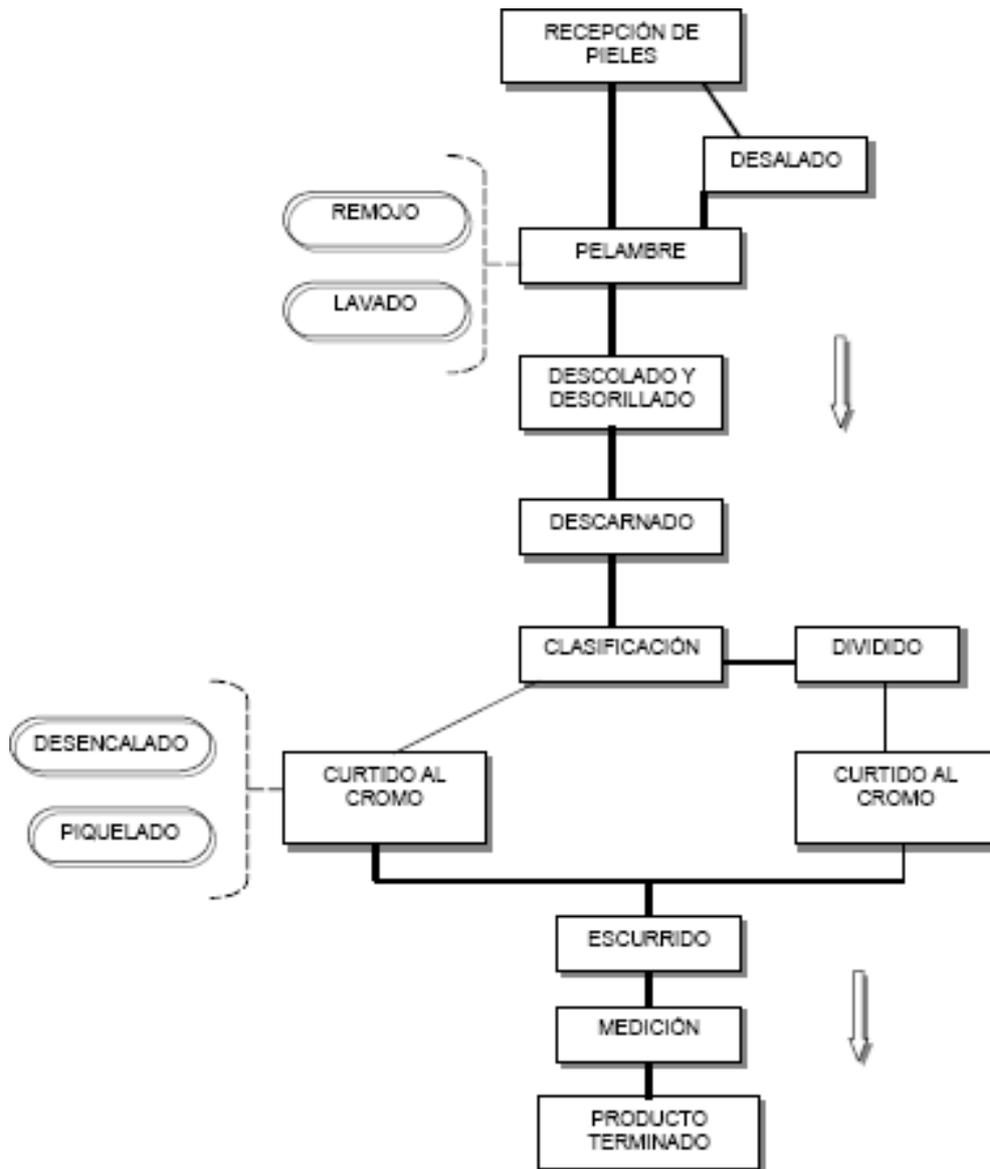


Figura 1. Diagrama de proceso de curtiembre.

Tomado de (Agudelo & Gutiérrez, 2007).

### 2.3.2. Recepción de materias primas

La piel fresca destinada al proceso contiene gran cantidad de humedad y pueden tener defectos lo que dificultarían el proceso, para ello es necesario realizar una inspección visual donde se revise si las pieles cumplen con las características necesarias para el proceso, por ello la conservación de las pieles juega un rol importante.

Los procesos de conservación de pieles se basan principalmente en la deshidratación de estas, con el fin de crear condiciones que imposibiliten el desarrollo de bacterias y la acción enzimática. Los sistemas más empleados son los que utilizan sal, teniendo como desventaja la elevada cantidad de sal necesaria para la piel, y repercute provocando problemas de contaminación. Actualmente se utilizan sistemas de conservación de corta duración con el empleo de agentes antisépticos sin la utilización de sal. (Ascencio, Dominguez, Himede, & Juárez, 2010)

### 2.3.2.1. Tipos de conservación

- **Procesos que utilizan sal.** – La sal es uno de los agentes más empleados en la conservación de pieles, su empleo se basa en el efecto de extracción de agua y de ciertas proteínas como albúminas y globulinas y en la inhibición del desarrollo bacteriano y la acción enzimática. La sal constituye un buen agente de curación cuando se utiliza convenientemente y en cantidades adecuadas manteniendo las pieles en buenas condiciones durante 1 o 2 años.

Las principales desventajas que presenta este tipo de conservación, es la contaminación pues en el remojo se extraen en promedio 3,5 a 4 kg de sal por piel.

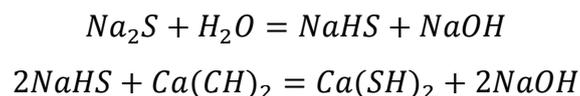
- **Procesos que no utilizan sal.** – Este proceso se basa en la deshidratación de las pieles por simple evaporación del agua contenida en éstas, con este proceso de conservación la humedad de las pieles baja aproximadamente al 12%.
- **Sistemas que utilizan curtidos leves.** – Existen varios procesos de conservación de pieles como: curtido vegetal leve (1% de curtido de cromo con 25% de  $Cr_2O_3$  y 33% de basicidad) y Curtido con mimosa manteniendo el proceso del curtido vegetal leve pero adicionalmente es tratado con Sulfato de Cromo III al 10%.

### 2.3.3. Remojo

Durante esta etapa las pieles se remojan durante 48 horas con la finalidad de rehidratarla y eliminar restos de sangre, grasa y sal de las pieles (Zapata, S.f). Es necesario utilizar abundante agua y cambiarla para impedir la pérdida de sustancias dérmicas y mantener bajo control el desarrollo bacteriano y la actividad enzimática.

#### **2.3.4. Pelambre**

Este proceso consiste en eliminar el pelaje que poseen las pieles, para ello se sumergen las pieles en diversas sustancias químicas con una constante agitación. Es importante destacar que durante la presencia de sustancias químicas el pH se incrementa a niveles entre 11-12. Actualmente la técnica utilizada con mayor frecuencia es el Sistema de Cal-Sulfuro con la siguiente reacción:



Fuente: (Morera & Bartolí, 2011)

#### **2.3.5. Encalado**

Las acciones que pueden ocurrir en el encalado son:

- Acción sobre el colágeno y otras proteínas.
- Abertura de la estructura fibrosa.
- Intensidad de la estructura fibrosa.
- Acción sobre las grasas.

La intensidad y la duración de las reacciones dependen del tipo de cuero y del proceso de pelambre elegido. (Martínez & Romero, 2016)

#### **2.3.6. Desencalado**

En el proceso de desencalado la intensidad y rapidez de este depende del tipo de piel y que tipo de desencalantes son utilizados, es la etapa en donde se utiliza la mayor cantidad de agua ya que consiste en lavar las pieles con la finalidad de remover sustancias alcalinas de origen natural o químicamente combinadas.

Para el proceso de desencalado se utilizan productos que reaccionen con la cal, creando productos con alto nivel de solubilidad, fáciles de remover con el enjuague. (Peñales, Guzmán, Martínez, & Cury, 2017)

Factores que intervienen en el proceso de desencalado:

- Tiempo de trabajo.
- Temperatura.
- Agente desencalante.
- Trabajo mecánico.
- Tipo de equipamiento.
- Volumen del equipo.

### **2.3.7. Descarnado y Desengrasado**

Previo a la etapa de curtido se separan la carne y la grasa adherida a la parte interna de la piel, el proceso se realiza con máquinas especiales que permiten despejar por completo la piel para que las sustancias que intervengan en el curtido puedan penetrar en la piel y el efecto sea óptimo en el mismo.

En cuanto al desengrasado mucho tiene que ver el origen de la piel, estas son sumergidas y dejadas en reposo con solventes y detergente previamente preparadas, excepto la piel de ovinos que su desengrasado es con percloroetileno debido a sus características de origen. (Zapata, S.f)

Los factores que intervienen son:

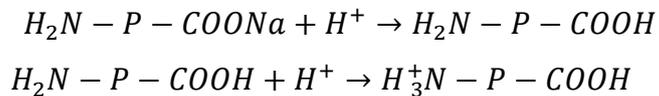
- Presencia de sales.
- pH.
- Temperatura.
- Concentración de limpieza.
- Tiempo.

### **2.3.8. Piquelado**

Es la etapa donde se prepara químicamente la piel para el curtido, mediante el uso de ácido fórmico  $CH_2O_2$  y ácido sulfúrico  $H_2SO_4$ , lo que ayuda a preparar

las fibras del colágeno para una fácil penetración de los agentes del proceso de curtido.

En la parte inicial de esta etapa el ácido actúa como proteína convirtiéndola en compuesto ácido acorde a las siguientes reacciones:



El ácido continúa vinculándose a la proteína hasta que el equilibrio sea establecido. (Ministerio de Medio Ambiente España, 2000)

Factores que intervienen en el proceso de piquelado:

- Absorción de ácidos.
- Velocidad de absorción de ácidos.
- Velocidad de penetración de los ácidos.
- Tipo de ácido.
- Volumen de baño.
- Pérdida de peso o disminución del volumen.
- Influencia del piquel sobre el peso de las pieles.
- Efecto de la temperatura.

### **2.3.9. Curtido al Cromo**

El proceso de curtido al cromo es el más utilizado en las curtiembres, pero a la vez es el que produce más contaminación debido a la toxicidad del Cromo, dicho proceso permite la estabilización de los niveles de colágeno en las pieles en cuero tratado.

Previo al proceso se escurre la piel con la finalidad de eliminar el mayor porcentaje de humedad. La piel ingresa a una divisora donde el cromo trivalente es un medio ácido que impide la degradación al convertir la piel en cuero, el cromo puede ser reutilizado si en el proceso no es totalmente absorbido (MAE, 2013).

### 2.3.10 Curtido con agentes vegetales

Hoy en día, los estudios y la disponibilidad de productos vegetales (madera, cortezas, raíces y hojas) permite una adecuada curtición manteniendo la fibra del cuero con elasticidad y blanda al tacto, que son resultado de métodos estudiados en el proceso de curtido al cromo.

El cuero ingresa en el proceso, en el cual se coloca el agente vegetal y es necesario la utilización de electricidad, gran cantidad de agua, productos químicos (sal y alumbre) lo cual se mantiene durante todo el proceso con un pH de 5. Al finalizar la operación se descargan al río una gran cantidad de efluentes con una elevada carga orgánica que en algunos casos no se les proporciona un tratamiento adecuado. (Ramón, Bacardit, Font, & Ollé, s.f)

Tabla 2.

*Concentraciones de contaminantes entre curtido vegetal y curtido al cromo*

Parámetro	Tipo de curtido	
	Curtido Vegetal (mg/L)	Curtido al Cromo (mg/L)
<b>DBO5</b>	1000	900
<b>DQO</b>	3000	2500
<b>Sulfuro</b>	160	160
<b>Sulfato</b>	2000	2000
<b>Cloruro</b>	2500	2500
<b>Nitrógeno total</b>	120	120
<b>Aceite y grasas extractables en éter</b>	200	200
<b>Fósforo</b>	1	1
<b>Cromo (III)</b>	-	70
<b>Sólidos totales</b>	10000	10000
<b>Sólidos suspendidos</b>	1500	2500
<b>Ceniza Total</b>	6000	6000

<b>Cenizas en sólidos suspendidos</b>	500	1000
<b>Sólidos sedimentables (2h)</b>	50	100
<b>pH</b>	9	9

Tomado de (MAE, 2013).

### **2.3.11 Secado**

Se realiza el secado de las pieles principalmente en los cueros de clase superior, en donde se reduce la mayor parte de la humedad de wet-blue, mediante métodos como el de desecación adhesiva el cual consiste en adherir a platos de vidrio el cuero húmedo y estirarlo. La velocidad es un factor importante debido a que si el secado es muy rápido es posible que únicamente se seque la parte exterior mientras la interior continúa húmeda. (Duque, 2007)

### **2.3.12 Recurtido**

Este proceso lo podemos determinar como el complemento de la etapa de curtido ya que mediante el uso de distintos componentes químicos se completa el proceso de curtido dándoles características distintas a la del curtido normal, como mayor resistencia al agua y suavidad, además de ayudar a la etapa de teñido para que esta sea más pareja (Gansser, 1953).

Es importante destacar las ventajas que presenta el recurtimiento para las pieles:

- Facilita el acabado.
- Eleva el precio de venta.
- Igualación del grosor del cuero.

### **2.3.13. Engrase y Teñido**

Durante esta etapa se adicionan al cuero distintos tipos de aceites emulsionados con la finalidad de suavizarlo incorporándolos en los espacios

entre las fibras, en este proceso intervienen dos tipos de reacciones una física que es la penetración de los aceites o grasas y una química que es la fijación donde se dan las reacciones químicas.

El teñido de cueros se realiza mediante un baño que contiene el tinte y agua para darle cierto tipo de pigmentación ya sea superficialmente, en parte o todo el espesor según características específicas que incrementan su valor (Delamare, 2000). Es importante cuando se realice el teñido tomar en cuenta las propiedades propias de cada tipo de cuero, las leyes de color, luz y el ambiente en el que va a ser utilizado el cuero.

#### 2.4. Aguas residuales: efluente total y efluente por procesos.

La industria de curtiembre genera gran cantidad de efluentes con altos niveles de sólidos, salinidad, materia orgánica y contaminantes como amoníaco y cromo. Los métodos y procesos utilizados en el curtido determinan las características y cantidad de agua residual de este sector (Mijaylova, López, Cardoso, & Ramírez, S.f).

Tabla 3.

*Características de efluentes de curtiembre por operación o proceso.*

Proceso	Caudal (l/día)	DBO		Proteína s (mg/l)	Sólido s totales (mg/l)	Sólidos volátiles (mg/l)
		(mg/l)	(kg/día)			
Remojo	276,705. 4	2,200	608.75	20	1,900	30,000 3,600
Pelambre	102,960. 1	15,50 0	1,595.8 9	54	22,900	78,000 18,000
Desencalad o	66,621.3	6,000	399.73	13	4,300	15,000 8,800

<b>Piquelado</b>	37,095.9	2,900	107.58	6	-	79,000	7,200
<b>Curtido al cromo</b>	32,175.1	6,500	209.14	6	-	93,000	13,000
<b>Acabado</b>	19,305.0	2,000	38.61	2	-	16,000	8,000

Tomado de (Nemerow, 1977).

## 2.5. Cromo

El Cromo es considerado un metal con número atómico 24 y peso molecular 51.996 perteneciente al grupo VIB de la tabla periódica. Entre sus características principales podemos destacar la resistencia a la corrosión, su dureza, brillantez y singular color blanco plateado (Marrett, Hartge, & Meigs, 1986).

El Cromo  $\text{Cr}^{+3}$  es esencial para el ser humano en su estado de oxidación más estable, ya que no produce ninguna reacción con componentes biológicos, lo que no sucede con el  $\text{Cr}^{+6}$  al ser considerado tóxico (Pechova & Pavlata, 2007). Destacamos que el  $\text{Cr}^{+3}$  es primordial ya que interviene en el proceso de metabolismo de insulina en el ser humano, mientras que el  $\text{Cr}^{+6}$  afecta a la salud debido a su nivel de toxicidad este se encuentra presente en cromatos y dicromatos.

### 2.5.1. Contaminación con Cromo

A partir de las actividades humanas se contaminan con cromo trivalente y hexavalente elementos como aire, suelo y agua. En el aire la concentración de cromo provoca el incremento de material particulado, en cuanto al suelo posee distintos efectos según el tipo de cromo, el trivalente se presenta como óxido de cromo el cual es insoluble, mientras que el hexavalente posee altos niveles de oxidación que al estar en contacto con materia orgánica se reduce a  $\text{Cr}^{+3}$ . (Molina, Aguilar, & Cordovez, 2010).

Mientras que en el agua al verter los contaminantes que intervienen en el proceso de curtido el cromo se precipita y en muy poca cantidad se diluye. El agua subterránea no se ve afectado en gran cantidad por contaminación de cromo en aguas superficiales debido al proceso de infiltración (Fernández & Guzmán, 2000). El nivel de toxicidad del cromo es bajo comparándolo con otros metales pesados, pero afecta a organismos acuáticos. *“Se considera que el 0,01 mg/l de Cr<sup>+6</sup> en el agua inhiben el crecimiento de las poblaciones de fitoplancton y de algas marinas”* (Barceló, Poschenrieder, & Gunsé, 1987).

El Sulfato de cromo es un agente inorgánico cuya fórmula es  $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$  considerado moderadamente soluble, que interviene en procesos de distintas industrias debido a sus características particulares. El Sulfato de Cromo es actualmente considerado como el principal agente curtiente que participa en el proceso de curtido de pieles (Hintermeyer, Lacour, & Tavani, 2013). Proporcionando un mayor nivel de tersura y mayor tiempo de uso en comparación a los cueros curtidos mediante agentes vegetales (Raisman & Gonzalez, 2007).

## **2.6. Adsorción**

Comprende un proceso fisicoquímico que consta de dos fases, la sólida y la líquida que involucran la biomasa y el agua con la sustancia que será adsorbida en lo posterior respectivamente. Uno de los objetivos principales de este método es la eliminación de metales pesados existentes en aguas residuales provenientes del sector industrial, utilizando como adsorbente diferentes tipos de materiales que presenten origen biológico como: residuos de frutas, bacterias, productos agrícolas, compostajes y algunos casos ciertos tipos de biopolímeros (Tejada, Villabona, & Garcés, 2015).

### **2.6.1. Generalidades de los materiales adsorbentes**

El material adsorbente como el carbón activado e intercambiador iónico a base de resinas presenta dificultad al ser utilizado debido a los altos costos que representa su compra, implementación y operación (Tejada, Villabona, & Garcés, 2015). La necesidad de disminuir los costos impulsa el desarrollo de nuevos productos y, por ende, la innovación tecnológica los que tienen como objetivo principal la optimización de tiempo y recursos dentro del proceso productivo. Además, la reutilización de materiales de desecho y simplificación de los mecanismos de producción, donde se han investigado adsorbentes naturales llamados no convencionales utilizados en la remoción de metales pesados de los distintos efluentes (Chiang, Ghyselbrecht, Santos, & Martens, 2012).

En los últimos años gracias a su disponibilidad y asequibilidad se ha estudiado la capacidad de adsorción que posee la lignina frente a la eliminación de metales del agua (Gomez, Velásquez, & Quintana, 2013), obteniendo que el nivel de adsorción que poseen fibras como la lignina y holocelulosa es sumamente alto ya que tienen un contenido de carbono considerable, por tanto, se han utilizado para la preparación de carbones activados (Ghada, Ola, & Nady, 2017), destacando que la lignina es considerado un precursor de la producción de carbón activado (AC), debido a su contenido de carbono y una estructura molecular similar al carbón bituminoso (Carrot, Ribeiro, & Suhas, 2006).

## **2.7. Compost**

El compost es un material que se obtiene a partir del proceso de compostaje, el cual es una aceleración del proceso natural de mineralización de la materia orgánica por vía aerobia de una manera intensificada y dirigida (Haug, 1993).

El término compost únicamente puede ser aplicado al producto resultante del proceso de compostaje de los residuos orgánicos, los cuales procedan de una recolección selectiva en su origen, obteniendo un producto de elevada calidad para uso agronómico (Lasaridi, y otros, 2006). El compost debido a sus

características y altos niveles de lignocelulosa, lignina y hemicelulosa se le considera apto para la retención de metales.

### **2.7.1. Proceso de Compostaje**

Según Vargas en el proceso de compostaje se distinguen dos fases, la primera es la fase de descomposición considerado un proceso exotérmico de degradación biológica en el cual las moléculas más complejas se degradan a moléculas orgánicas e inorgánicas más sencillas, ya que las moléculas orgánicas poseen gran cantidad de grupos funcionales que tienen la capacidad de adherir metales pesados (Eggs, Salvarezza, Azario, Fernández, & García, 2012). Esta fase se compone de dos etapas una etapa mesofílica en la que se alcanzan temperaturas hasta los 45°C y una etapa termofílica en la que se alcanzan temperaturas que pueden llegar hasta 70°C eliminando microorganismos patógenos con lo que se asegura la higienización del producto final. Y la segunda fase de maduración donde se da la formación de los ácidos húmicos y fúlvicos. Se llevan a cabo los procesos de enfriamiento con temperaturas desde 40°C a temperatura ambiente, y de estabilización la cual se desarrolla a temperatura ambiente; se caracteriza por una baja actividad microbiana obteniéndose un producto estable y maduro (Vargas, 2012).

### **2.8. Isotermas de adsorción**

Las isotermas de adsorción representan la proporción entre la cantidad adsorbida y la concentración en el fluido como se indica en la Figura 2.

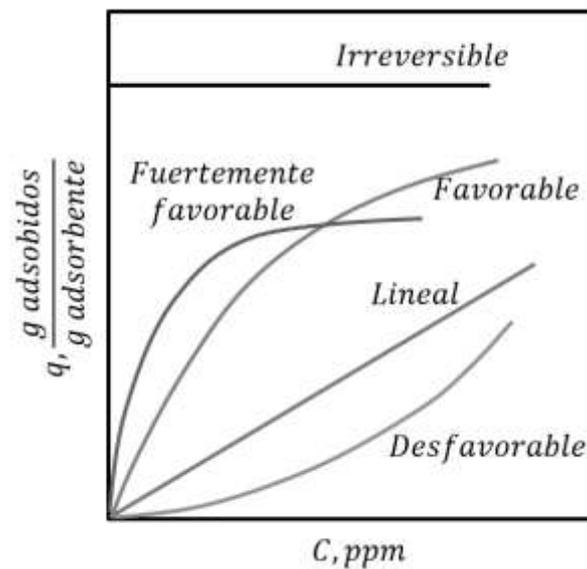


Figura 2. Isotermas de Adsorción

Tomado de (Lavado, Sun, & Bendezu, 2010).

Las isotermas de adsorción representan una forma esencial para predecir y comparar el rendimiento de la adsorción de un adsorbente a partir de pruebas experimentales en el laboratorio que permiten diseñar sistemas eficaces de adsorción (Chen, 2015).

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e) \times V}{m}$$

Donde  $C_0$  y  $C_e$  representan las concentraciones iniciales y de equilibrio del adsorbato,  $V$  es el volumen de la solución medido en litros (l) y  $m$  representa la masa medida en gramos (gr) del adsorbente.

### 2.8.1. Clasificación de isotermas

**Isoterma de Freundlich:** Este tipo de isoterma toma en cuenta la heterogeneidad energética que posee la superficie del adsorbente y está conformada por sitios específicos de adsorción situados en distintos lugares. Además, se considera que adsorbe únicamente una monocapa ya que entre las moléculas adsorbidas no existe interacción lateral.

$$q = K \times C^{\frac{1}{n}}$$

Tenemos su ecuación donde “k” representa la constante de capacidad de adsorción y “n” la constante de intensidad de adsorción. (Lazo, Navarro, Sun-Kou, & Llanos, 2008).

**Isoterma de Langmüir:** Se base en que los nano poros del adsorbente son equivalentes y la cualidad de la molécula para adherirse a la superficie no depende de las posiciones ocupadas. La adsorción por medio del adsorbente solo es en una monocapa y tampoco existen interacciones laterales entre el adsorbato.

$$q = \frac{KbC}{(1 + KC)}$$

Tenemos la ecuación donde “C” representa la concentración del fluido, “q” la carga del adsorbato y “b y K” son constantes.

**Isoterma de Redlich-Peterson:** Este tipo de isoterma se considera un monohíbrido al no cumplir con adsorción por monocapas a diferencia de las anteriores, además posee tres parámetros y combina características de Langmüir y de Freundlich.

$$Q = \frac{K C}{1 + a^{\beta}}$$

Tenemos la ecuación donde “K y a” son constantes del sistema y  $\beta$  es un exponente entre 0 y 1.

## 2.9. Curvas de ruptura.

Podemos definir una curva de ruptura como el punto en donde la concentración alcanza su punto máximo en el que se interrumpe el flujo constante o en su

lugar se dirige el flujo hacia otro lecho. La zona de transferencia es primordial para el comportamiento del adsorbente ya que si la zona es estrecha se utiliza la mayor capacidad que posee el sólido hasta llegar al punto de ruptura, mientras que si la altura del lecho y la zona de transferencia son las mismas, la curva de ruptura se encontrará muy extendida, por ello se espera que sea estrecha ya que beneficia el ahorro de energía y utiliza de forma óptima la capacidad del adsorbente (McCabe, Smith, & Harriott, 1991).

### 3. Metodología

#### 3.1. Area de Muestreo

Se realizó la visita a la Tenería Inca para obtener el agua residual proveniente del proceso de curtido al cromo, en donde se determinaron los datos de campo que se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4.

*Descripción de la empresa Tenería “Inca”*

<b>Dirección</b>	Av. Indoamérica y Encarnación
<b>Latitud</b>	1°14'0.41"S
<b>Longitud</b>	78°36'6.55"O
<b>Altitud</b>	2552 msnm
<b>Perímetro</b>	193 m
<b>Área</b>	2083 m <sup>2</sup>

**Nota:** Datos tomados en campo.

#### 3.2. Caracterización del agua residual.

Se recolectaron 10 litros de agua del proceso de curtido al Cromo de la empresa “Tenería Inca” en dos recipientes plásticos, que fueron transportados a la Universidad de las Américas Sede Queri. De los 10 litros se recogió una alícuota en un envase plástico de 3 litros para su posterior análisis en el laboratorio “LABOLAB”.

Tabla 5.

*Proceso de preparación de las muestras para el análisis según las normas NTE INEN 2169*

<b>Descripción</b>	<b>Norma NTE INEN 2169</b>	<b>Procedimiento</b>
<b>Preparación de Recipientes</b>	Para realizar el análisis químico es necesario lavar el recipiente para poder evitar cualquier tipo de contaminante en la muestra.	Se realizó la limpieza de los dos envases plástico con agua destilada en la Tenería previo a recoger la muestra del proceso de Curtido al Cromo, se realizó el mismo proceso en el envase para llevar la muestra al laboratorio.
<b>Llenado del recipiente</b>	Para muestras en las que se realizaran determinación de tipo físico químico al llenar el recipiente se debe evitar que exista aire sobre la muestra para evitar que la muestra se agite durante el transporte y pueda realizarse alguna interacción gaseosa.	El efluente de Curtido al Cromo fue recogido con sumamente cuidado con ayuda del operador. Siguiendo instrucciones del laboratorio se entregó una muestra de 3 litros al tope evitando que exista aire en la muestra para realizar el análisis.
<b>Transporte de muestras</b>	Los recipientes en los que se transportaran la muestra deben ser sellados adecuadamente para evitar derrames o contaminantes externos.	Se transportó Ambato-Quito los envases con la muestra cubierto con un plástico para evitar cualquier tipo de contaminación.
<b>Rotulado</b>	La muestra obtenida debe estar rotulada de forma clara y permanente	Durante el proceso de análisis la muestra permaneció rotulada en el

en el laboratorio.

laboratorio de la universidad. De la misma forma se rotuló la muestra enviada al laboratorio incluyendo la fecha en la que fue recogida.

Tomado de (Instituto Ecuatoriano de Normalización , 2013).

Se envió al laboratorio la muestra del agua de curtiembre, para el análisis fisicoquímico, que incluye mediciones de pH, DBO, DQO, conductividad, sólidos totales, sólidos disueltos totales, sólidos suspendidos totales, y cantidad de cromo total, como se observa en la Tabla 6.

El objetivo del análisis fue de comparar con la metodología de caracterización colorimétrica de Cromo (Zárate, Rojas, & Porst, 1993) y realizar las curvas de calibración, isothermas y curvas de ruptura, ya que se considera un procedimiento asequible y de fácil operación. Esta metodología tiene un 95% de confianza en comparación a la absorción atómica.

Tabla 6.

*Métodos utilizados en el análisis de agua de curtiembre.*

<b>Análisis</b>	<b>Método</b>
<b>pH (20°C)</b>	PEE/LA/10 INEN ISO 10523
<b>Conductividad</b>	Std. Methods APHA 2510
<b>Sólidos Totales (105°C)</b>	Std. Methods APHA 2540 B
<b>Sólidos Disueltos Totales (105°C)</b>	Std. Methods APHA 2540 C
<b>Sólidos Suspendidos (105°C)</b>	Std. Methods APHA 2540 D
<b>Demanda Química de Oxígeno</b>	Std. Methods APHA 5210 D
<b>Demanda Biológica de Oxígeno</b>	Std. Methods APHA 5220 D
<b>Cromo</b>	Std. Methods APHA 3111 B Modificado

**Nota:** Informe de resultados LABOLAB.

### **3.3. Caracterización de cromo por método colorimétrico.**

La determinación del Cromo se realizó siguiendo las siguientes etapas:

De acuerdo con la metodología utilizada:

- En un tubo de ensayo se agregó con una pipeta 5ml del agua residual previamente filtrada en un balón de aforo de 100ml.
- Se extrajo 4ml de la solución obtenida colocándolo en un vial previamente lavado y secado.
- Se agregó 6 ml de EDTA (0.05M).
- Se calentó la solución a 70°C durante 2 horas en el Bloque Digestor.
- Se dejó enfriar la muestra hasta temperatura ambiente.
- Se midió en el espectrofotómetro la absorbancia a 590 nanómetros (Zárate, Rojas, & Porst, 1993).

#### **3.3.1. Preparación de la solución EDTA (ácido etilendiaminotetraacético) (0.08M)**

- Se pesó 16g de EDTA en una balanza analítica.
- Se pesó 0.4 de Cloruro de Magnesio  $MgCl_2$ .
- Se agregó de forma consecutiva las sustancias mencionadas en un balón de aforo de 500ml.
- Se agitó la solución y se colocó en una botella ámbar de 500ml previamente rotulada.

### **3.4. Curva de Calibración**

Se adquirió sulfato de cromo  $Cr_2(SO_4)_3$  marca BAYER, que es el compuesto utilizado en el proceso de curtido, y contiene 33% de basicidad y 24% de Óxido de Cromo  $Cr_2O_3$  lo que representa un 16,5% de  $Cr^{+3}$ .

Se preparó una solución madre de 10g/l de sulfato de cromo  $Cr_2(SO_4)_3$ , de las cuales se formaron 8 disoluciones con concentraciones de 1 a 8 g/l a partir de la fórmula de Concentraciones:

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

A partir de las 8 disoluciones obtenidas se realizó la metodología de (Zárate, Rojas, & Porst, 1993) para medir la absorbancia en el espectrofotómetro a 590 nanómetros.

### 3.5. Determinación fisicoquímica del compost.

Se utilizaron 3 muestras de compost comercial (Kompost, Agropesa y La Moquita) para la determinación del compost más adecuado para la adsorción de Cromo del agua de curtiembre mediante, la caracterización fisicoquímica de cada una de las muestras donde se midieron los siguientes parámetros.

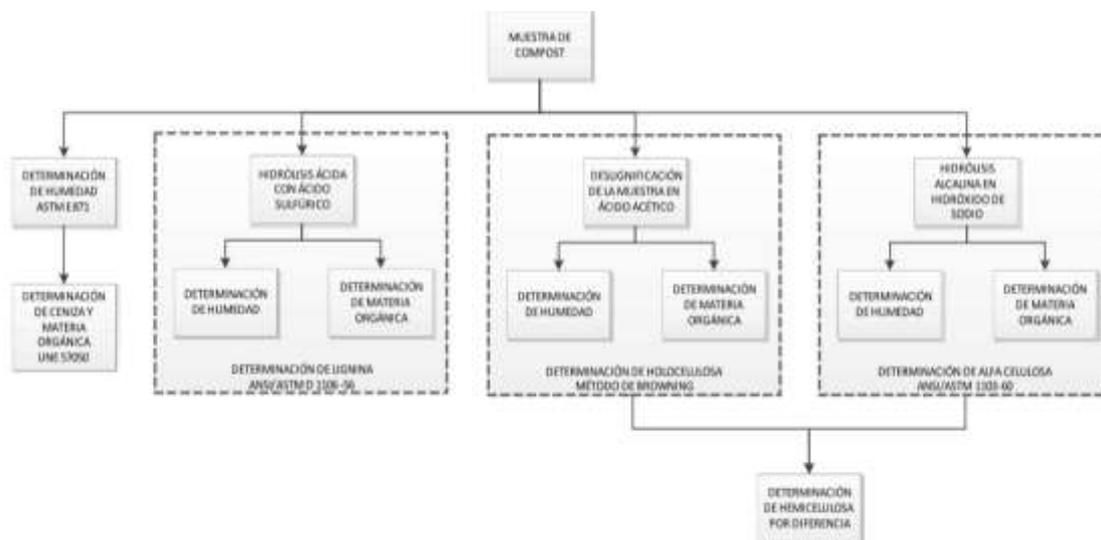


Figura 3. Caracterización del Compost.

Tomado de (ANSI/ASTM, 1977).

#### 3.5.1. Humedad

Para las 3 muestras de compost se realizó la metodología (ASTM, 1998):

- Primeramente, se pesó el crisol en la balanza analítica.
- Se agregó 10 gramos de compost y se midió.
- Se colocó en la estufa a 105 °C durante 24 horas.
- Se sacó la muestra de la estufa y se pesó el crisol en la balanza analítica y se realizó las mediciones con la siguiente ecuación:

$$w = \frac{(Mh - Ms)}{(Ms - Mr)} * 100\%$$

*Donde:*

*W= es el porcentaje de humedad del compost.*

*Mh= Peso en gramos del recipiente más la muestra de 10gramo del compost (gr).*

*Ms= Peso en gramos del recipiente más la muestra de 10 gramo del compost seco en la estufa (gr).*

*Mr= Peso del crisol (gr).*

### **3.5.2. Cenizas**

Para la medición de cenizas si realizó el siguiente procedimiento:

- Después de la medición de Ms (Peso en gramos del recipiente más la muestra de 1 gramo del compost seco en la estufa) (gr).
- Se llevó la muestra a la mufla a 550 °C durante 4 horas.
- Se retiró la muestra de la mufla y se pesó en la balanza analítica.
- Se realizó los cálculos con la siguiente ecuación.

$$\%Cenizas = \frac{Masa\ cenizas}{Ms} * 100$$

*Donde:*

*Masas cenizas: Peso después de la mufla.*

*Ms: Peso en gramos del recipiente más la muestra de 1 gramo del compost seco en la estufa.*

### **3.5.3. Determinación de lignina klason**

Se compraron 3 diferentes marcas de compost: Agropesa, Kompost y La Moquita, en las cuales se determinó la cantidad de lignina que poseen mediante Standard test methods for lignin in Wood que fue uno de los determinantes para elegir el compost que contenga el mayor porcentaje de fibra para realizar la adsorción de Cromo III en el agua de curtiembre, ya que estudios demuestran la gran capacidad de adsorción que posee la fibra:

- Se realizó una mezcla de un g de compost previamente pesado en la balanza analítica con 15 ml de  $H_2SO_4$ , que reposó 24 horas
- Se colocó la mezcla anterior en un matraz de 1000 ml donde se añadió 560 ml de agua destilada con la finalidad de disminuir la concentración de  $H_2SO_4$  del 72% al 3%.
- Se colocó el matraz de destilación con el refrigerante el cual se mantuvo en ebullición durante 4 horas hasta obtener el destilado.
- Mediante un papel filtro para sólidos suspendidos que fue previamente calentado a 105°C, se utilizó el equipo de filtración para obtener el residuo del matraz.
- En el equipo de filtración se agregó agua destilada con la finalidad de bajar el pH.
- El papel filtro para sólidos suspendidos resultante del proceso de filtración fue calentado en la estufa a 105°C durante 12 horas.
- La muestra se llevó a la mufla durante 24 horas a una temperatura de 430°C para obtener el porcentaje de materia orgánica.

Fórmula para obtener el porcentaje de lignina en las diferentes marcas de compost.

$$\text{Lignina}(\%) = \frac{[(P3 - P2) \times (\% \text{MOlig}) \times 100]}{[P1 \times (100 - \%H)]}$$

Donde:

**P1:** *Peso de la muestra (compost).*

**P2:** *Peso del papel filtro para sólidos suspendidos.*

**P3:** *Peso del papel filtro luego de la estufa.*

**%MOlig:** *Porcentaje en Materia Orgánica.*

**%H:** *Porcentaje de agua respecto a la muestra.*

#### **3.5.4. Determinación de Holocelulosa**

Se determinó el porcentaje de holocelulosa que poseía cada una de las marcas de compost mediante la técnica de Browning, ya que la holocelulosa es otra de las características que influyen para decidir que compost es el más adecuado para utilizarlo en el proceso.

- En un Erlenmeyer de 250 ml se añadió 2 g de cada muestra por separado con 63ml de agua destilada.
- Se añadió 0.2 ml de ácido acético glacial  $CH_3COOH$  Y 0,6 g de clorito sódico  $NaClO_2$  en la mezcla anterior.
- Se llevó a baño María a una temperatura de 78°C durante 1 hora con agitaciones dispersas.
- Repetimos el proceso anterior dos veces.
- Se colocó en un baño de agua hielo el Erlenmeyer hasta que disminuya su temperatura a 10°C.
- Se filtró la mezcla en un papel filtro.
- Añadimos agua destilada al papel filtro hasta que la coloración amarilla desaparezca.
- Se dejó secar a 60°C y se pesó para obtener los porcentajes de humedad y de materia orgánica.

Fórmula para obtener el porcentaje de holocelulosa en las diferentes marcas de compost.

$$\text{Holocelulosa (\%)} = \frac{[(P3 - P2) \times (100 - \%H_{\text{holo}}) \times (\%MO_{\text{holo}})]}{[P1 \times (100 - \%H)]}$$

Donde:

**P1:** *Peso de la muestra.*

**P2:** *Peso papel filtro para sólidos suspendidos.*

**P3:** *Peso después de secarse a 60 °C.*

**%Hholo:** *Porcentaje de humedad.*

**%MOholo:** *Porcentaje de Materia Orgánica.*

**%H:** *Pocentaje de agua respecto a la muestra.*

### 3.5.5. Determinación de Celulosa

Según la norma Standard test methods for alpha-cellulose in wood se midió los porcentajes de celulosa que tenían las diferentes marcas de compost.

- En un Erlenmeyer de 100 ml se añadió 1 g de holocelulosa y 5 ml de Hidróxido Sódico *NaOH* con una concentración de 17,5% mezclando constantemente con una varilla de vidrio.
- Cada 5 minutos se añadió al Erlenmeyer 2,5 ml de *NaOH*, hasta añadir un total de 12,5 ml.
- Se dejó reposar a temperatura ambiente durante 30 minutos.
- Con la finalidad de disminuir la concentración del *NaOH* de 17,5% a 8,3% se añadió 16,5 ml de agua destilada, se dejó reposar a temperatura ambiente durante 1 hora.
- Se filtró la mezcla en un papel filtro.
- Se realizaron tres repeticiones donde se lavó con *NaOH* al 8,3% y agua destilada.

- Se cortó el proceso de succión y se añadió 7,5 ml de ácido acético glacial  $CH_3COOH$  al 10% dejando que actúe durante 3 minutos.
- Se volvió a conectar al vacío, añadiendo agua destilada hasta tener neutralidad en el filtrado.
- Durante 12 horas a  $105^\circ C$  se secó en la estufa y se pesó para obtener la cantidad de materia orgánica.

Fórmula para obtener el porcentaje de celulosa en los diferentes mascar de compost.

$$Celulosa(\%) = \frac{[(P3 - P2) \times (\%MO_{cel}) \times (\%Holocelulosa) \times 100]}{[P1 \times (\%MO_{holo}) \times (100 - \%Hholo)]}$$

Donde:

**P1:** *Peso de holocelulosa.*

**P2:** *Peso papel filtro para sólidos suspendidos.*

**P3:** *Peso después de la estufa a  $105^\circ C$ .*

**%MO<sub>cel</sub>:** *Cantidad de materia orgánica en el sólido obtenido.*

**%Holocelulosa:** *Porcentaje de Holocelulosa calculado en el apartado anterior.*

**%Hholo:** *Porcentaje de humedad.*

**%MO<sub>holo</sub>:** *Porcentaje de Materia Orgánica.*

### 3.5.6. Determinación de Hemicelulosa:

Para realizar el cálculo de porcentaje de hemicelulosa que tienen las diferentes muestras tenemos la siguiente fórmula:

$$\% Hemicelulosa = \% Holocelulosa - \% Celulosa$$

Luego de la caracterización de los compost de todos los parámetros necesarios se seleccionó el que obtuvo mayor porcentaje de (Lignina + Holocelulosa).

### **3.6. Pruebas de Adsorción Batch para la Determinación de Isotermas**

Se realizó un proceso de pruebas en el Test de jarras con el agua sintética preparada a diferentes concentraciones colocando diferentes cantidades de compost de la marca Agropesa, misma que fue seleccionada por contener la mayor cantidad de fibra, siguiendo los siguientes pasos:

- Se colocó 500 ml de agua sintética a 500, 1000 y 1500 ppm en un vaso de precipitación de 1000 ml.
- En base a la cantidad de fibra (holocelulosa + lignina) existente en el compost, se colocó 10, 25 y 50 g de fibra lo que corresponde a 17.5, 43.76 y 87.51 gramos de compost.
- Durante 4 horas se agitó con una velocidad de 100RPM.
- Se dejó reposar durante 24 horas, se tomó una muestra, la cual se filtró y se procedió a determinar el cromo con la marcha colorimétrica descrita anteriormente, utilizándose como punto cero el blanco con agua destilada para realizar la medición final de la concentración de cromo.
- En base a los datos obtenidos, se estudiaron las isotermas lineal, de Freundlich, Langmüir y Redlich-Peterson. para lo cual se realizaron las gráficas correspondientes para elegir la que más se ajuste al proceso. Partiendo de un análisis estadístico de regresión con el uso de Excel.

### **3.7. Determinación de las curvas de ruptura con el agua residual de curtido de la industria de cuero.**

Se recolectaron 55 galones de agua de la empresa “Tenería Inca” del proceso de curtido al Cromo en un recipiente plástico, el cual fue transportado a la Universidad de las Américas Sede “Queri” siguiendo las normas NTE INEN 2169 descrita anteriormente.

#### **3.7.1. Construcción de las columnas**

Se construyeron dos columnas de lecho fijo con los siguientes materiales:

- Un tubo PVC de 2 pulgadas de diámetro interno y de 1,6m de altura.
- Un tubo PVC de 2 pulgadas de diámetro interno y de 1,3m de altura.
- 4 bushing de polietileno.
- 4 reducciones de 2 pulgadas a media pulgada.
- 4 codos de media pulgada.
- Una llave de agua
- Dos mangueras
- Una llave de paso para separación entre columnas.

### 3.7.2. Preparación de los lechos adsorbentes

Para evitar la compactación y caída de presión del lecho adsorbente durante el proceso se determinó la porosidad y la densidad aparente por lo que se utilizaron dos columnas, la primera se rellenó con 10cm de adsorbente y la segunda columna con 20cm de compost.

#### 3.7.2.1. Porosidad

Se midieron los niveles de porosidad con la finalidad de determinar la cantidad necesaria de compost para el lecho fijo de adsorción, siguiendo la siguiente metodología:

- Se escogió un volumen determinado de compost en un vaso de precipitación de 60ml y se observó el volumen aparente.
- En una probeta de 500ml se llenó de agua hasta un volumen conocido, se le agregó la cantidad de compost y se observó cuanto subió en la probeta para conocer su volumen real.

Se realizó el cálculo de porosidad mediante la fórmula

$$\varphi = 1 - \frac{\rho_a}{\rho_r}$$

Donde:

$\varphi$ : Porcentaje de Porosidad

$\rho_r$  : Densidad Real

$\rho_a$  : Densidad Aparente

### 3.7.2.2. Densidad Aparente

Para la medición de la densidad aparente se siguió el siguiente procedimiento:

- En un vaso de precipitación de 100ml se colocó una determinada cantidad de compost y se pesó en la balanza analítica.
- Después de obtenido la masa del compost se observó en el vaso de precipitación que volumen ocupaba.
- Se realizó el siguiente cálculo.

$$\rho_a = \frac{m_a}{v_a}$$

Donde:

$m_a$ : Masa aparente (gr)

$v_a$ : Volumen aparente (cm<sup>3</sup>)

### 3.7.3. Construcción de la curva de ruptura

- Se midió la concentración inicial del agua residual.
- Se fijó el caudal calculado, en 40ml/min, que fue el caudal que dio la bomba de 0.5 HP de potencia.
- Se bombeó agua de curtiembre tomando muestras en el final de la segunda columna con intervalos de 1 minutos durante 20 minutos, y a partir de ahí cada 5 minutos hasta completar una hora.

- En las muestras se determinó el cromo siguiendo el procedimiento colorimétrico antes descrito.
- Se realizaron 3 repeticiones del ensayo, con el fin de obtener valores promedio.
- Se construye las curvas de ruptura a partir de los datos de concentración y tiempo.

#### 3.7.4. Porcentaje de remoción

Luego de determinar la curva de ruptura para conocer cuál es el tiempo en el que se debería cambiar el adsorbente en este caso el compost del lecho fijo. Se midió el porcentaje de remoción del proceso con la siguiente fórmula:

$$\%remoción = \frac{(C_{ini} - C_{fi})}{C_{ini}}$$

Donde:

$C_{ini}$ : Concentración de Cromo en el proceso de curtido al Cromo de la tenería.

$C_{fi}$ : Concentración promedio de cromo (tiempo cero al tiempo de ruptura) después de las columnas.

## 4. Resultados y discusión.

### 4.1. Caracterización del agua residual

Se analizó el agua residual en el laboratorio “LABOLAB” (Anexo 1), en la tabla 7 se observan los resultados del análisis físico químico de las aguas residuales provenientes del proceso de curtido al cromo de la Tenería Inca, según esto se evidencia que la empresa no está cumpliendo con el Anexo 1 del libro VI de la Norma de Calidad Ambiental y de descarga de efluentes: Recurso Agua, ya que no se realiza un tratamiento previo a la descarga de efluentes al alcantarillado. La norma establece que los efluentes que van al alcantarillado tienen como límite máximo permisible 0.5mg/l de Cr<sup>+6</sup> “hexavalente”.

Tabla 7.

*Resultados del Laboratorio Certificado*

<b>Análisis Físico-Químico</b>	<b>Resultado</b>	<b>Unidad</b>
<b>pH (20°)</b>	3.41	
<b>Conductividad</b>	107 200	μS/cm
<b>Sólidos Totales (a 105°C)</b>	97 704	mg/l
<b>Sólidos Disueltos Totales (a 105°C)</b>	43 650	mg/l
<b>Sólidos Suspendidos (a 105°C)</b>	54 054	mg/l
<b>Demanda Química de Oxígeno</b>	3 700	mg/l
<b>Demanda Bioquímica de Oxígeno</b>	4 840	mg/l
<b>Cromo</b>	7 206.40	mg/l

Tomado de Informe de resultados LABOLAB.

La medición inicial del agua residual como se muestra en la Tabla 8 se hizo por triplicado, se filtró cada muestra siguiendo metodología de (Zárate, Rojas, & Porst, 1993) para la medición del Cromo con el espectrofotómetro a 590 nm, con la finalidad de comparar los resultados de la Tabla 7 con un nivel de confianza de 95%. Para ello se realizaron la respectiva curva de calibración para el conocer las demás concentraciones de los resultados.

Tabla 8.

*Resultado de la Absorbancia en el espectrofotómetro a 590nm*

	<b>Resultado</b>	<b>Unidad</b>
<b>Muestra 1</b>	0.233	<i>Abs para Cr</i>
<b>Muestra 2</b>	0.239	<i>Abs para Cr</i>
<b>Muestra 3</b>	0.239	<i>Abs para Cr</i>
<b>Promedio</b>	0.237	<i>Abs para Cr</i>

**4.2. Curvas de Calibración**

Se realizó una curva de calibración para determinar la relación existente entre la concentración y la absorbancia, que al multiplicar por un factor podamos conocer la concentración con un nivel de confianza del 95%, y la absorbancia para el proceso de curva de ruptura e isothermas.

En la Tabla 9, podemos observar los niveles de absorbancia obtenidos en el espectrofotómetro a 590nm a distintas concentraciones de Cromo, posterior a las mediciones se realizó una gráfica lo que refleja la Figura 4 una tendencia lineal  $y = 29.317x$  que representa la ecuación utilizada para conocer las posteriores concentraciones.

Tabla 9.

Cantidad de Absorbancia en concentraciones de 1 a 10 gr/l

Abs	Concentración gr/l
0.268	10
0.246	8
0.239	7
0.218	6
0.177	4
0.158	3
0.117	2
0.06	1

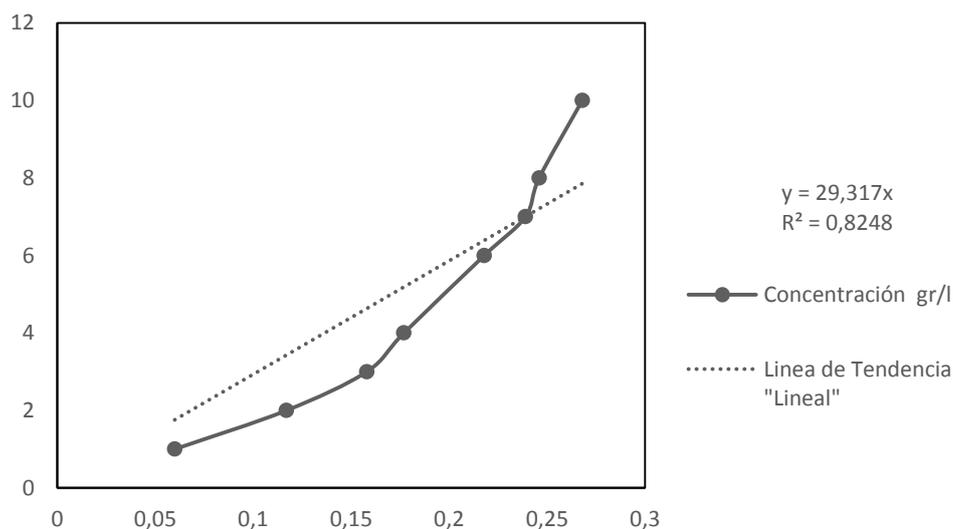
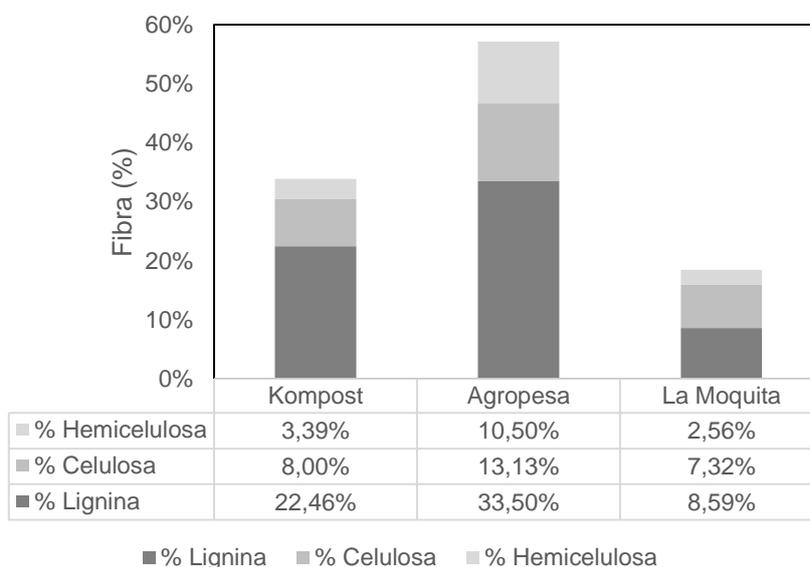


Figura 4. Concentración vs Absorbancia.

### 4.3. Caracterización de compost

Para la caracterización del compost se determinaron los niveles de lignina, hemicelulosa, holocelulosa y celulosa de tres tipos diferentes de compost: Kompost, Agropesa y La Moquita (Anexo 2,3 y 4)

En la figura 5, se muestran los porcentajes de fibra obtenidos mediante la determinación de lignina, holocelulosa, celulosa y hemicelulosa. Podemos observar que Agropesa tiene 57,13% como porcentaje de fibra frente a Kompost con 33.85% y La Moquita 18.47%.



*Figura 5.* Porcentaje de fibra por compost.

Estos porcentajes fueron base para elegir Agropesa como el mejor compost al tener 57,13% como porcentaje de fibra razón por la que fue, el que se utilizó en los procesos de isoterma y curvas de ruptura.

En la Figura 6, podemos observar los porcentajes de los componentes del compost como humedad y materia seca, siendo Agropesa con 49,09% el tipo de compost que posee mayor porcentaje de humedad, valores que fueron calculados a partir de la metodología de (ASTM, 1998) (Anexo 5).

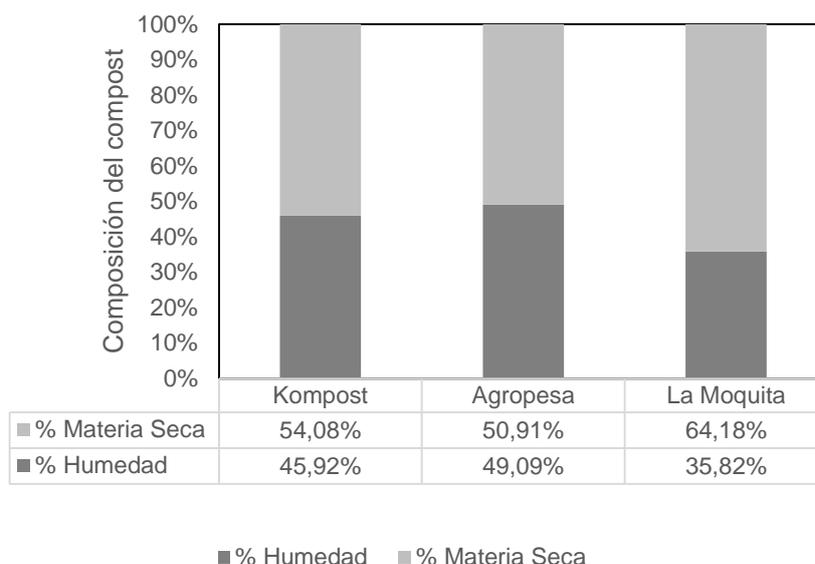


Figura 6. Composición de humedad en el compost.

En lo referente a materia orgánica en peso seco y peso húmedo como observamos en las figuras 7 y 8 respectivamente, la marca Agropesa es superior en cuanto a porcentaje de materia orgánica lo que reafirma la elección en base al porcentaje de fibra, al coincidir el mismo compost en los distintos análisis (Browning, 1967).

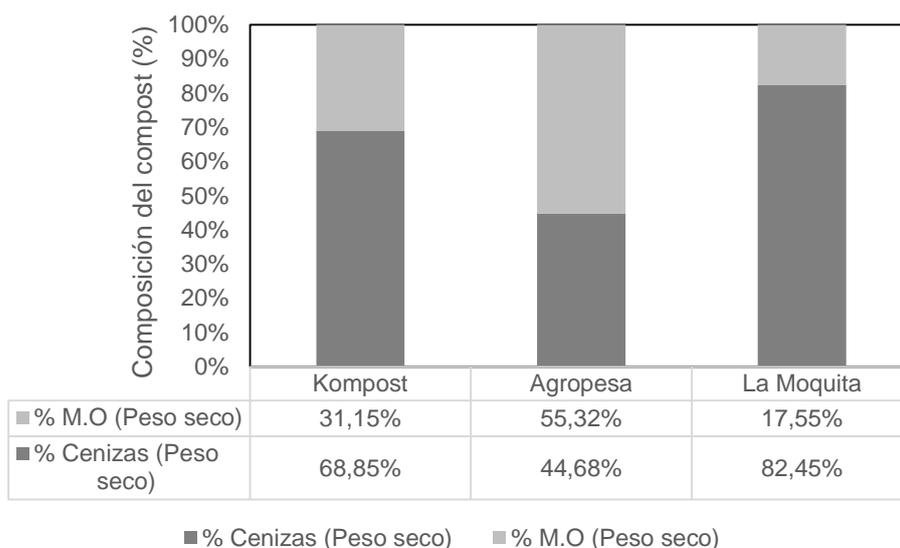
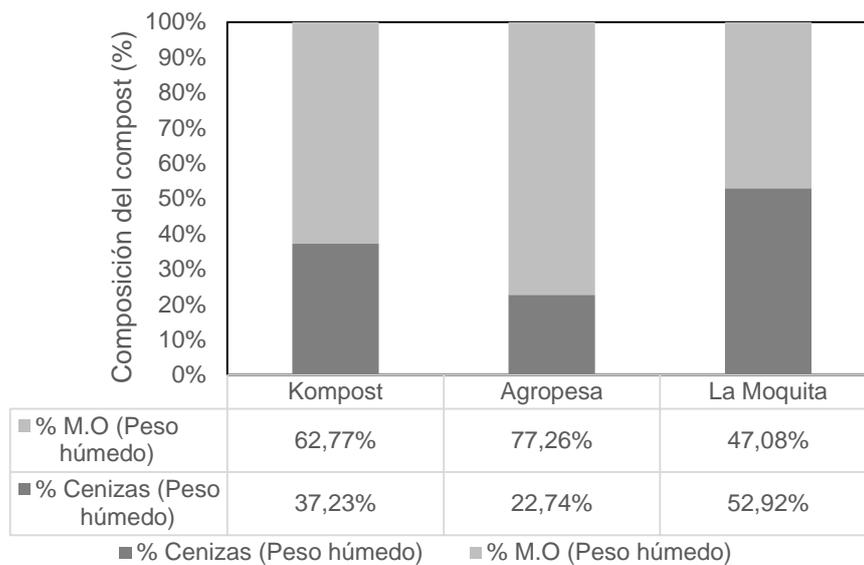


Figura 7. Composición de materia orgánica en peso seco en el compost.



*Figura 8.* Porcentaje de Materia Orgánica y Cenizas en Peso húmedo

#### 4.4. Resultados de las Isotermas

Para las isotermas se realizó el test de jarras con concentraciones de 500, 1000 y 1500ppm de Cromo con diferentes cantidades de compost de 10, 25 y 50 g de fibra, para analizar la concentración en el equilibrio ( $C_{eq}$ ) respecto a la cantidad de miligramos absorbidos por cada gramo de absorbente ( $q$ ). En el Anexo 6 se presentan los datos obtenidos de absorbancia y los cálculos de concentración en el Test de jarras.

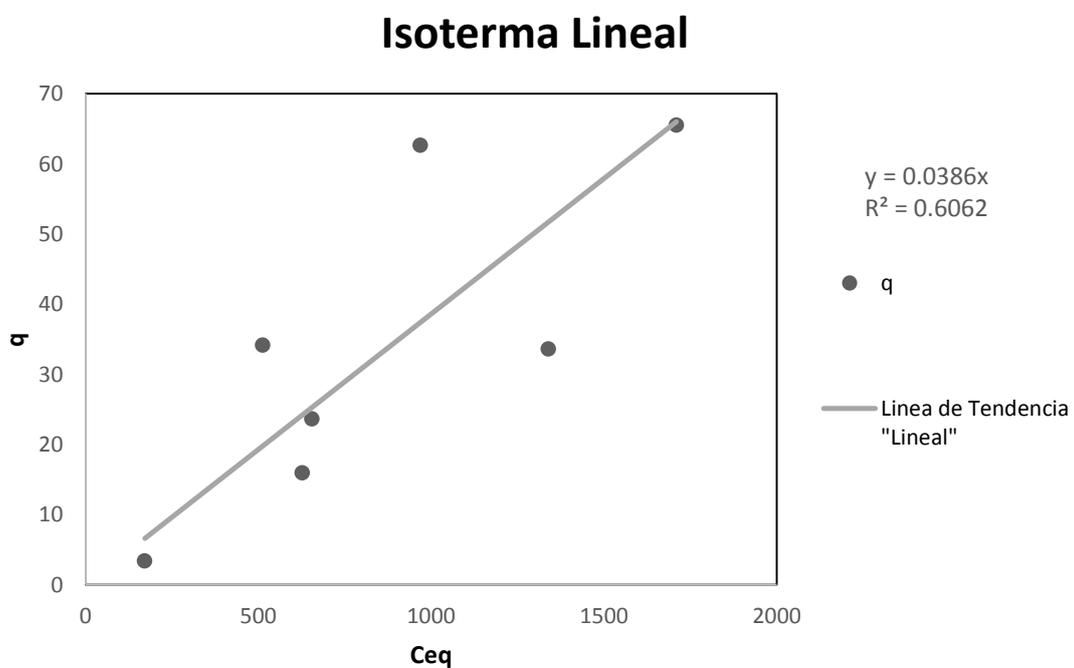
##### 4.4.1. Isoterma Lineal

La Tabla 10 demuestra la concentración de cromo adsorbido después de reposar 24 horas para cada uno de los miligramos adsorbidos por cada gramo de compost. Se muestra en la Figura 9 una tendencia lineal con intercepto en 0, de ( $C_{eq}$ ) respecto a  $q$ , presentando un  $R^2$  de 0.6062 lo que demuestra la correlación existente entre las variables.

Tabla 10.

Concentración en el equilibrio ( $C_{eq}$ ) respecto a  $q$  en Isoterma Lineal.

LINEAL	
Concentración en el equilibrio	$q$ (mg/gr)
170.946	3.41892
512.838	34.1892
626.802	15.95496
655.293	23.64753
968.694	62.6802
1339.077	33.61938
1709.46	65.5293



*Figura 9.*

Concentración en el equilibrio respecto a miligramo de cromo adsorbidos por gramo de compost en Isoterma Lineal.

Cómo podemos observar en la Tabla 11, la regresión contiene 7 observaciones con un  $R^2$  ajustado de 0.7228 que representa la variabilidad en porcentaje de los valores correspondientes a la variable independiente (Levin & Rubin, 2004), en este caso la cantidad de cromo adsorbido por gramo de compost.

Tabla 11.

*Análisis de Regresión Lineal*

<b>Estadísticas de la regresión</b>	
<b>Coefficiente de correlación múltiple</b>	0.94312385
<b>Coefficiente de determinación R<sup>2</sup></b>	0.88948259
<b>R<sup>2</sup> ajustado</b>	0.72281592
<b>Error típico</b>	14.4573977
<b>Observaciones</b>	7

Al realizar el análisis de la varianza como vemos en la Tabla 12, nos arroja un valor alto del estadístico F lo que representa el grado en el que el modelo se encuentra asociado con la respuesta obtenida.

Tabla 12.

*Análisis de Varianza de la Isoterma Lineal*

<b>Análisis de la Varianza</b>					
	<b>Grados de libertad</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Promedio de los cuadrados</b>	<b>F</b>	<b>Valor crítico de F</b>
<b>Regresión</b>	1	10093.4181	10093.4181	48.2900891	0.00094804
<b>Residuos</b>	6	1254.09809	209.016348		
<b>Total</b>	7	11347.5162			

**Hipótesis nula e hipótesis alternativa**

Para cada una de las isotermas se describieron en conjunto la hipótesis nula y alternativa siendo así:

**H<sub>0</sub>**: No existe una relación significativa entre la variable  $C_{eq}$  y  $q$ .

**H<sub>1</sub>**: Existe una relación significativa entre la variable  $C_{eq}$  y  $q$ .

Al observar que los datos presentan una distribución normal se eligió el cálculo de T-Student con un valor de 6.9491 por lo que se rechazó la hipótesis nula y

acepto la hipótesis alternativa que afirma la relación existente entre las variables ( $C_{eq}$ ) y  $q$ . De igual forma la Tabla 13 nos muestra la pendiente determinada por 0.0386 y un intercepto ( $a$ ) de 0 siguiendo la ecuación de la regresión lineal.  $Y = a + bx$ .

Tabla 13.

*Estadístico T-Student de la Regresión Lineal*

	<b>Coeficientes</b>	<b>Error típico</b>	<b>Estadístico t</b>	<b>Probabilidad</b>
<b>Intercepción</b>	0	#N/A	#N/A	#N/A
<b>Ceq</b>	0.0386	0.0056	6.9491	0.0004
	<b>Inferior 95%</b>	<b>Superior 95%</b>	<b>Inferior 95,0%</b>	<b>Superior 95,0%</b>
<b>Intercepción</b>	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A
<b>Ceq</b>	0.0250	0.0522	0.0250	0.0522

**4.4.2. Isoterma de Langmüir**

En la Tabla 14 podemos observar la concentración existente en el equilibrio que representa la concentración de material adsorbido después de reposar 1 día para cada uno de los miligramos por cada gramo de material adsorbente. Se muestra en la Figura 10 una tendencia lineal que parte con un intercepto, de ( $C_{eq}$ ) respecto a  $q$ , presentando un  $R^2$  de 0.9511 lo que demuestra como la relación entre las variables explican el modelo.

Tabla 14.

*Concentración en el equilibrio ( $C_{eq}$ ) respecto a  $q$  en Isoterma de Langmüir*

<b>LANGMUIR</b>	
<b>1/Ceq</b>	<b>1/q</b>
<b>0.005849801</b>	0.292490026
<b>0.001949934</b>	0.029249003
<b>0.0015954</b>	0.062676434
<b>0.001526035</b>	0.042287715
<b>0.001032318</b>	0.015954001
<b>0.000746783</b>	0.029744748

---

**0.00058498 0.015260349**

---

### Isoterma de Langmüir

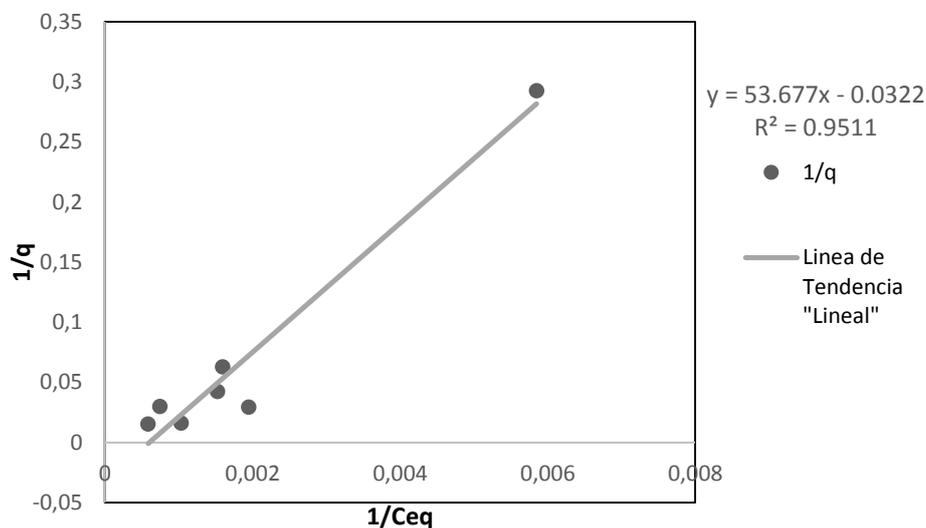


Figura 10. *Concentración en el equilibrio respecto a miligramo de cromo adsorbidos por gramo de compost en Isoterma Langmüir.*

La Tabla 15 nos muestra una regresión lineal simple con un  $R^2$  ajustado de 0.9413 la cual contiene 7 observaciones y un coeficiente de correlación entre las variables de 0,9752.

Tabla 15.

#### *Análisis de Regresión Langmüir*

<b><i>Estadísticas de la regresión</i></b>	
<b>Coefficiente de correlación múltiple</b>	0.97523989
<b>Coefficiente de determinación <math>R^2</math></b>	0.95109284
<b><math>R^2</math> ajustado</b>	0.94131141
<b>Error típico</b>	0.02412887
<b>Observaciones</b>	7

Una vez realizado el análisis de la varianza se arrojan los datos que observamos en la Tabla 16, donde obtenemos un estadístico F de 97.2345, el cual representa como el planteamiento del modelo se asocia con la respuesta obtenida.

Tabla 16.

*Análisis de Varianza de la Isoterma Langmüir*

	<b>Grados de libertad</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Promedio de los cuadrados</b>	<b>F</b>	<b>Valor crítico de F</b>
<b>Regresión</b>	1	0.05661015	0.05661015	97.2345211	0.00018283
<b>Residuos</b>	5	0.00291101	0.0005822		
<b>Total</b>	6	0.05952116			

Se realizó el análisis del estadístico t con un valor de 9.8607 por lo que se rechazó la hipótesis nula y se aceptó la hipótesis alternativa que afirma la relación existente entre las variables ( $C_{eq}$ ) y q. De igual forma la Tabla 17 nos muestra la pendiente determinada por 53.67 y un intercepto (a) de -0.0322 siguiendo la ecuación de la regresión lineal.

Tabla 17.

*Estadístico T-Student de la Regresión Langmüir*

	<b>Coefficientes</b>	<b>Error típico</b>	<b>Estadístico t</b>	<b>Probabilidad</b>
<b>Intercepción</b>	-0.0322069	0.01378058	-	0.0666182
			2.33712226	
<b>1/Ceq</b>	53.6768652	5.44348342	9.86075662	0.00018283
	<b>Inferior 95%</b>	<b>Superior 95%</b>	<b>Inferior 95,0%</b>	<b>Superior 95,0%</b>
<b>Intercepción</b>	-0.06763101	0.00321721	-	0.00321721
			0.06763101	
<b>1/Ceq</b>	39.6839456	67.6697848	39.6839456	67.6697848

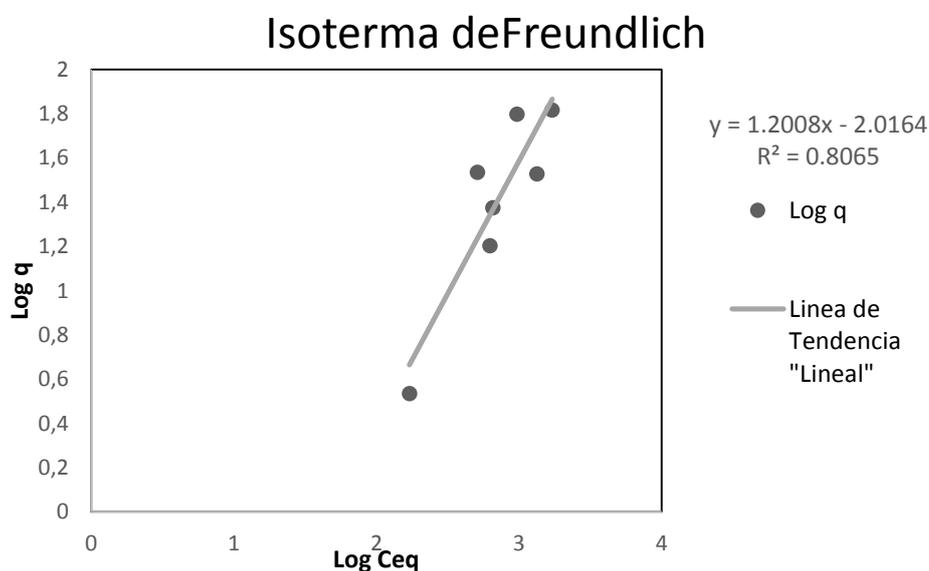
**4.4.3. Isoterma de Freundlich:**

Para la determinación de la Isoterma de Freundlich se obtuvo la relación entre el logaritmo de la concentración en el equilibrio y el logaritmo de “q” como se muestra en la Tabla 18. Mientras que en la Figura 11 observamos la línea de la tendencia que es de forma lineal que parte con un intercepto, presentando un  $R^2$  de 0.8065 que demuestra el nivel en el que la relación de las variables explica el modelo.

Tabla 18.

Concentración en el equilibrio ( $C_{eq}$ ) respecto a  $q$  en Isoterma de Freundlich.

FREUNDLICH	
Log $C_{eq}$	Log $q$
2.232858943	0.533888939
2.709980198	1.533888939
2.797130374	1.20289572
2.816435529	1.373785785
2.98618661	1.797130374
3.126805551	1.5265897
3.232858943	1.816435529



**Figura 11.** Concentración en el equilibrio respecto a miligramo de cromo adsorbidos por gramo de compost en Isoterma Freundlich.

La Tabla 19 en base a 7 observaciones muestra el análisis de las principales variables que explican la regresión con un  $R^2$  ajustado de 0.7677 y un coeficiente de correlación de 0,8980.

Tabla 19.

Análisis de Regresión Freundlich.

<b>Estadísticas de la regresión</b>	
<b>Coefficiente de correlación múltiple</b>	0.89804778
<b>Coefficiente de determinación <math>R^2</math></b>	0.80648982

<b>R<sup>2</sup> ajustado</b>	0.76778779
<b>Error típico</b>	0.21140142
<b>Observaciones</b>	7

En la Tabla 20 podemos ver el análisis de la varianza de los datos presentando un estadístico F de 20.8384 y un valor crítico de F de 0.0060 con lo que es posible asumir la relación existente entre el modelo y la respuesta obtenida.

Tabla 20.

*Análisis de Varianza de la Isoterma Freundlich.*

<b>Análisis de la Varianza</b>					
	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
<b>Regresión</b>	1	0.93128132	0.93128132	20.8384342	0.00602981
<b>Residuos</b>	5	0.22345281	0.04469056		
<b>Total</b>	6	1.15473412			

En la Tabla 21 se muestra el análisis realizado para determinar el intercepto necesarios para la fórmula de la ecuación de regresión lineal, además del estadístico T con un valor de 4.5649.

Tabla 21.

*Estadístico T-Student de la Regresión Freundlich.*

	<b>Coefficientes</b>	<b>Error típico</b>	<b>Estadístico t</b>	<b>Probabilidad</b>
<b>Intercepción</b>	-2.01641426	0.75218172	-	0.04378057
			2.68075414	
<b>Log Ceq</b>	1.2008445	0.26305965	4.56491338	0.00602981
	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>	<i>Inferior 95,0%</i>	<i>Superior 95,0%</i>
<b>Intercepción</b>	-3.94995892	-	-	-0.08286959
		0.08286959	3.94995892	
<b>Log Ceq</b>	0.52462815	1.87706084	0.52462815	1.87706084

#### 4.4.4. Isoterma de Redlich-Peterson:

Para la determinación de la Isoterma de Redlich-Peterson se obtuvo la relación de  $1/C_{eq}$  elevado a un factor determinado de 1,5 por la literatura y  $1/q$  según Redlich-Peterson como se observa en la Tabla 22. Por otro lado, en la Figura 12 observamos la recta de la regresión lineal con un intercepto de 0.0035 y una pendiente de 639.58, mostrando una línea de tendencia con un  $R^2$  de 0.9754 que demuestra el nivel en el que la relación de las variables explica el modelo.

Tabla 22.

*Concentración en el equilibrio ( $C_{eq}$ ) respecto a  $q$  en Isoterma de Redlich-Peterson.*

<b>REDLICH-PETERSON CON N=1.5</b>	
<b><math>1/C_{eq}^{1.5}</math></b>	<b><math>1/q</math> L-F</b>
<b>0.076483989</b>	0.292490026
<b>0.044158051</b>	0.029249003
<b>0.03994246</b>	0.062676434
<b>0.039064497</b>	0.042287715
<b>0.032129702</b>	0.015954001
<b>0.027327331</b>	0.029744748
<b>0.024186361</b>	0.015260349

Isoterma de Redlich-Peterson

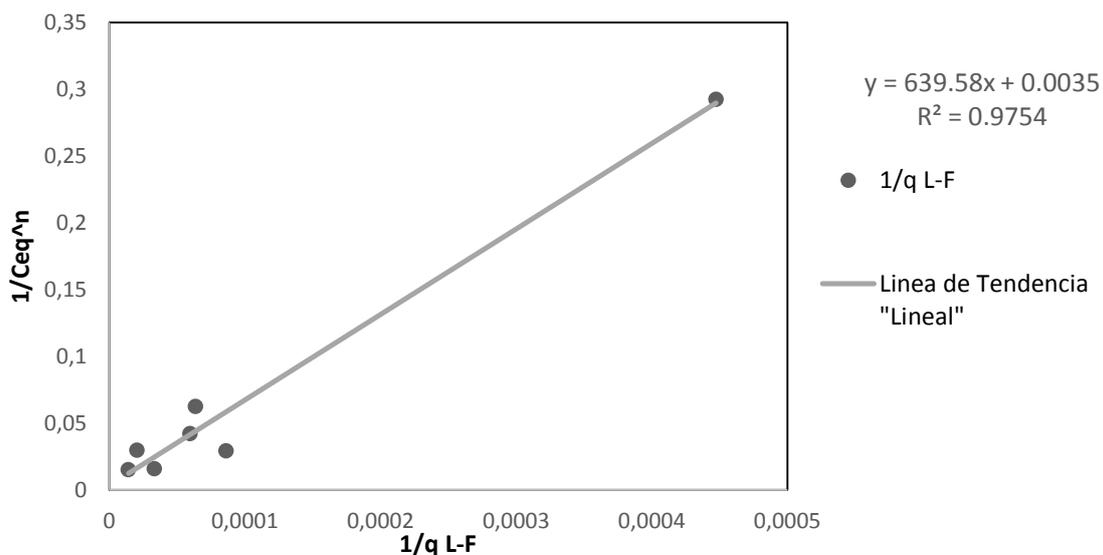


Figura 12. Concentración en el equilibrio respecto a miligramo de cromo adsorbidos por gramo de compost en Isotherma Redlich-Peterson.

La Tabla 23 muestra el análisis de la regresión lineal aplicada a 7 observaciones donde arroja un  $R^2$  ajustado de 0.9704 y un coeficiente de correlación de 0,9876.

Tabla 23.

*Análisis de Regresión Redlich-Peterson.*

<b>Estadísticas de la Regresión</b>	
<b>Coeficiente de correlación múltiple</b>	0.987611307
<b>Coeficiente de determinación <math>R^2</math></b>	0.975376093
<b><math>R^2</math> ajustado</b>	0.970451312
<b>Error típico</b>	0.017121002
<b>Observaciones</b>	7

Por otro lado, se realizó el análisis de la varianza, resultados que muestra la Tabla 24 presentando un estadístico F de 198.0547 y un valor crítico de F de 0.00003.

Tabla 24

*Análisis de Varianza de la Isotherma Redlich-Peterson.*

<b>Análisis de Varianza</b>					
	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
<b>Regresión</b>	1	0.058056	0.058056	198.0547	3.25934E-05
<b>Residuos</b>	5	0.001466	0.000293		
<b>Total</b>	6	0.059521			

En la Tabla 25 podemos observar el análisis referente al cálculo del intercepto para su uso en la ecuación de la regresión, además es importante señalar el estadístico t con 14.0731, mientras que la probabilidad es de 0.00003 por lo

que al ser menor de 0.05 cumple con el postulado de que se realizó la prueba con el 95% de confianza.

Tabla 25.

Estadístico T-Student de la Regresión Redlich-Peterson.

	<b>Coeficientes</b>	<b>Error típico</b>	<b>Estadístico t</b>	<b>Probabilidad</b>
<b>Intercepción</b>	0.003461936	0.008000356	0.432722688	0.68324519
<b>1/Ceq^n</b>	639.5794459	45.44665466	14.07319088	3.25934E-05
	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>	<i>Inferior 95,0%</i>	<i>Superior 95,0%</i>
<b>Intercepción</b>	-	0.024027506	-	0.024027506
	0.017103634		0.017103634	
<b>1/Ceq^n</b>	522.755101	756.4037909	522.755101	756.4037909

Se realizó el análisis con el 95% de confianza de los diferentes tipos de isothermas mediante regresiones lineales simples con la finalidad de determinar la capacidad de adsorción máxima que poseen (Herrejón, Limón, & Martínez, 2008), y elegir si se acepta o rechaza nuestra hipótesis nula, en donde se observó que coincide en las cuatro isothermas al rechazar la hipótesis nula y aceptar la hipótesis alternativa de la existencia de una relación significativa entre la variable (Ceq) y q.

De la misma forma podemos observar que en las cuatro isothermas analizadas, poseen un coeficiente de correlación elevado lo que indica que el modelo se encuentra correctamente planteado, pues los resultados coinciden y en lo que difieren es en el grado en el que es explicado el modelo.

Al hablar del análisis de varianza refiriéndonos en específico al estadístico "F" podemos observar que la isoterma que presenta un mayor valor es la de Redlich-Peterson, lo que coincide con el estadístico "t" donde es la isoterma que posee el valor más alto.

Se eligió a la isoterma de Redlich-Peterson como la isoterma que mejor explica la relación existente entre las variables, basándonos principalmente en que es la que posee un mayor coeficiente de determinación ( $R^2$ ) al ser su valor el más

cercano a 1, siendo este de 0,9754 lo que indica que el 97.54% de los valores experimentales se ajustan a la recta establecida, además al observar la gráfica vemos que posee la menor dispersión de datos por ende presenta una menor desviación estándar. Adicionalmente destacamos que la variable ( $C_{eq}$ ) y  $q$  presentan una relación lineal positiva.

La isoterma sería de la forma:

$$q = \frac{0.00156 \times C^{1.5}}{1 + 5.47 \times 10^{-6} \times C^{1.5}}$$

#### 4.5. Curva de ruptura

Después de obtenida la isoterma que más se ajusta en el estudio se prosiguió a preparar el compost (Agropesa) para la colocación en las columnas de lecho fijo. Se determinó previamente la porosidad y la densidad aparente para conocer la cantidad exacta de compost en que se colocaría en las columnas.

##### 4.5.1. Porosidad

$$\varphi = 1 - \frac{\rho_a}{\rho_r}$$

$$\rho_a = \frac{m}{V_a} \quad \rho_a = \frac{m}{40 \text{ ml}}$$

$$\rho_r = \frac{m}{V_r} \quad \rho_r = \frac{m}{20 \text{ ml}}$$

$$\varphi = 1 - \frac{20 \text{ ml}}{40 \text{ ml}}$$

$$\varphi = 50\%$$

Al elegir Agropesa como el mejor compost se realizaron los análisis de porosidad, con la finalidad de determinar la cantidad de compost que se debía

adicionar a las columnas de lecho fijo y evitar la saturación, obteniendo una porosidad del 50%.

#### 4.5.2. Densidad aparente

$$\rho_a = \frac{m_a}{v_a}$$

$$\rho_a = \frac{24.0217g}{50ml} \times 0.5091w$$

$$\rho_a = 0.2445g/cc$$

De igual forma que la porosidad, se realizaron los cálculos de densidad aparente en el compost Agropesa para determinar la cantidad necesaria de este para las columnas de lecho fijo.

Para realizar los cálculos de densidad aparente es necesario las medidas en peso seco, por lo que se multiplico por la humedad que posee el compost Agropesa para corregir el dato y obtener el resultado en peso seco.

#### 4.5.3. Mediciones en las columnas de lecho fijo

Se realizó previo a las corridas, una medición inicial del agua de cromo con una absorbancia de 0.341 y una concentración de 9997.097mg/l de Cromo, tomando como punto de partida estos datos para las posteriores mediciones.

Podemos observar en la Tabla 26, los promedios de las corridas realizadas cada minuto durante 20 minutos, y cada 5 minutos hasta completar una hora, proceso repetido durante tres ocasiones donde fueron medidas las absorbancias en las columnas de lecho fijo, podemos ver en la Figura 13 que algunos datos varían debido al método colorimétrico donde el agua filtrada puede presentar ácidos húmicos y fúlvicos los que pueden influir en el resultado.

Tabla 26.

*Mediciones de absorbancia en columnas de lecho fijo*

Tiempo	Medición1	Medición2	Medición3
--------	-----------	-----------	-----------

<b>(min)</b>	<b>(mg/l)</b>	<b>(mg/l)</b>	<b>(mg/l)</b>
<b>0</b>	762.242	586.340	2052.190
<b>1</b>	1114.046	820.876	1495.167
<b>2</b>	1260.631	1026.095	2433.311
<b>3</b>	1260.631	1026.095	2990.334
<b>4</b>	1377.899	1055.412	820.876
<b>5</b>	1026.095	1084.729	586.340
<b>6</b>	1231.314	1377.899	1114.046
<b>7</b>	1348.582	1583.118	586.340
<b>8</b>	1114.046	1524.484	996.778
<b>9</b>	938.144	1583.118	879.510
<b>10</b>	1641.752	1700.386	1964.239
<b>11</b>	2257.409	2550.579	1612.435
<b>12</b>	3078.285	2638.530	1495.167
<b>13</b>	4045.746	2462.628	1495.167
<b>14</b>	3518.040	2433.311	1759.020
<b>15</b>	3254.187	3518.040	3605.991
<b>16</b>	2316.043	4397.550	2286.726
<b>17</b>	4602.769	4954.573	3459.406
<b>18</b>	6332.472	5071.841	2433.311
<b>19</b>	7534.469	6479.057	3371.455
<b>20</b>	7534.469	8413.979	5277.060
<b>25</b>	7651.737	8472.613	7036.080
<b>30</b>	8062.175	8501.930	6215.204
<b>35</b>	8091.492	8531.247	5365.011
<b>40</b>	9205.538	8560.564	5863.400
<b>45</b>	10348.901	8648.515	6948.129
<b>50</b>	10407.535	8853.734	7974.224
<b>55</b>	10671.388	9264.172	9410.757
<b>60</b>	11814.751	9703.927	9821.195

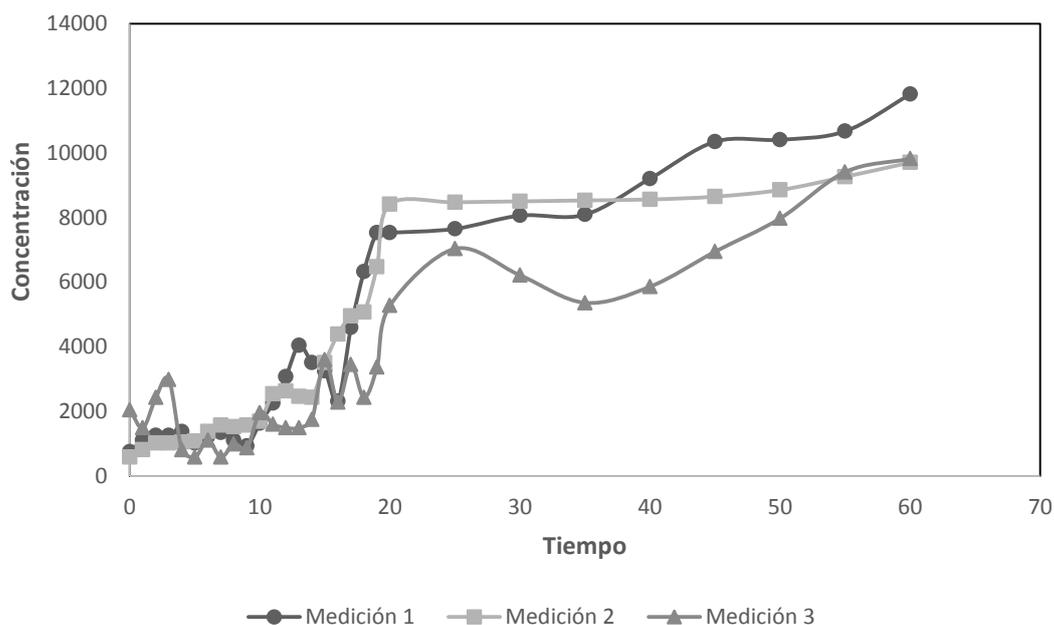


Figura 13.

*Mediciones de concentración en el lecho fijo.*

En la Tabla 27, observamos la concentración de cromo medido en mg/l, el cual fue calculado al multiplicar los promedios de las mediciones por el factor 29.317 obtenido en la curva de calibración.

Tabla 27.

*Concentración en mg/l de cromo del promedio de las mediciones en el lecho fijo*

<b>Tiempo (min)</b>	<b>Concentración (mg/l)</b>
<b>0</b>	1133.591
<b>1</b>	1143.363
<b>2</b>	1573.346
<b>3</b>	1759.020
<b>4</b>	1084.729
<b>5</b>	899.055
<b>6</b>	1241.086
<b>7</b>	1172.680
<b>8</b>	1211.769
<b>9</b>	1133.591
<b>10</b>	1768.792
<b>11</b>	2140.141
<b>12</b>	2403.994

<b>13</b>	2667.847
<b>14</b>	2570.124
<b>15</b>	3459.406
<b>16</b>	3000.106
<b>17</b>	4338.916
<b>18</b>	4612.541
<b>19</b>	5794.994
<b>20</b>	7075.169
<b>25</b>	7720.143
<b>30</b>	7593.103
<b>35</b>	7329.250
<b>40</b>	7876.501
<b>45</b>	8648.515
<b>50</b>	9078.498
<b>55</b>	9782.106
<b>60</b>	10446.624

En la Figura 14 observamos como la curva de ruptura tiene la forma típica (en forma de “S”) (McCabe, Smith, & Harriott, 1991), observándose que a los 10 minutos se satura el compost, utilizado como material adsorbente, por ello a partir de ese punto se incrementa la concentración de cromo en el efluente de salida, hasta que en el minuto 40 la concentración es prácticamente igual a la inicial. Esto indica que es necesario cambiar a los 10 minutos el adsorbente para la correcta remoción del cromo a través del lecho fijo.

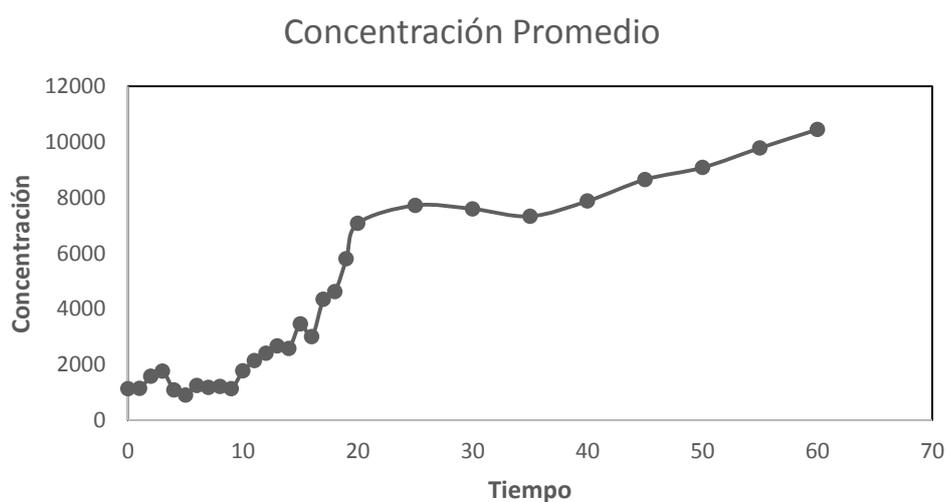


Figura 14.

*Curva de ruptura del promedio de las mediciones.*

A los 10 minutos, la concentración del efluente es de 1768.79, lo que representa una relación C/Co de 0,1769, cabe señalar que, teóricamente el punto de ruptura

Con frecuencia el punto de ruptura se toma como una concentración relativa de 0,05 o 0,10 y, puesto que solamente la última porción de fluido tratado posee la concentración más elevada, la fracción media de soluto separado desde el comienzo hasta el punto de ruptura es con frecuencia 0,99 o superior (McCabe, Smith, & Harriott, 1991).

sin embargo, estamos por encima de este valor teórico dada la alta carga contaminante que tiene el agua.

#### **4.6. Cálculo de la eficiencia de remoción.**

$$\%remoción = \frac{(C_{ini} - C_{fi})}{C_{ini}}$$

$$\%remoción = \frac{(9997.097 - 1283.72)}{9997.097}$$

$$\%remoción = 87.15\%$$

Para determinar los cálculos se realizó un promedio de las concentraciones obtenidas desde el tiempo inicial hasta alcanzar el tiempo de saturación (10 minutos)  $t_0$  a  $t_{10}$ , obteniéndose una adsorción del 87.15% del cromo inicial presente en el agua residual, lo que es un valor considerablemente alto para la concentración inicial que presentaba el agua frente a la mínima cantidad de compost.

## **5. Conclusiones y Recomendaciones**

### **5.1. Conclusiones**

La caracterización de las aguas del proceso de curtido mostró una carga de 7206.4 y 9997.097 mg/l de Cromo respectivamente, razón por la que, se concluye que no cumple con los límites permisibles para descarga de efluente en el alcantarillado establecido en el Anexo 1 del libro VI de la Norma de Calidad Ambiental y descarga de efluentes: Recurso Agua.

El compost de la marca Agropesa contiene la mayor cantidad de fibra con un 57.13%, factor por el que fue elegido como material adsorbente en la experimentación.

La isoterma de Redlich-Peterson fue la que más se ajustó al modelo que explica la relación entre la concentración en el equilibrio ( $C_{eq}$ ) respecto a la cantidad de miligramos absorbidos por cada gramo de adsorbente ( $q$ ) para la implementación de las columnas de lecho fijo.

Se determinó una curva de ruptura en 10 minutos, donde el material adsorbente se satura y no adsorbe con la misma eficiencia, ya que la concentración del agua filtrada empieza a aumentar hasta llegar a la concentración inicial.

El método colorimétrico funcionó óptimamente en la experimentación debido a su bajo costo operativo y la significancia de 95% de los datos proporcionados.

El tratamiento implementado fue efectivo, ya que la concentración inicial de 9997.097 mg/l de Cromo presente en el agua de curtiembre disminuyó hasta 1283,63 mg/l lo que representa una eficiencia de remoción de 87.16%.

Para lograr concentraciones mínimas de Cromo en los efluentes es necesario tratamientos adicionales, empleando varias columnas.

### **5.2. Recomendaciones**

El presente estudio analizó y evaluó las variables que presentaban influencia dentro del modelo, sin embargo, no se encuentra exento de dejar a un lado variables que pueden influir en el mismo (otra metodología para análisis de cromo, caudal), por ello, se recomienda para futuras investigaciones sobre el tema se involucren otras variables, para corroborar el análisis descrito en la Adsorción de cromo en agua de curtiembre mediante compost.

En pequeñas cantidades el Cromo ( $\text{Cr}^{+3}$ ) no es tóxico, pero al tratarse de la industria de Cuero que no cuenta con un tratamiento previo de sus efluentes que arrojan al alcantarillado una concentración elevada de  $\text{Cr}^{+3}$ , se recomienda especificar los límites máximos permisibles de Cromo trivalente dentro de la normativa ecuatoriana.

El compost se satura de forma rápida y deja de adsorber adecuadamente, en este proceso intervienen factores como la caída de presión y la altura, por ello para poder incrementar la cantidad de material adsorbente en las columnas y el grado de remoción sea mayor sería necesario una bomba con mayor potencia.

Se recomienda hacer estudios posteriores para la remediación del compost luego de haberlo utilizado en las columnas, ya que el compost va a tener una gran carga de cromo trivalente y es necesario un adecuado manejo de este, para evitar un impacto considerable en el ambiente.

No existe una normativa ambiental de límites permisibles de  $\text{Cr}^{+3}$ , cabe recalcar que la oxidación posterior en los sistemas de gestión de efluentes de las empresas de curtiembre produce  $\text{Cr}^{+6}$  de importancia ambiental, se recomienda hacer pruebas con descarga de  $\text{Cr}^{+6}$ .

## REFERENCIAS

- Acosta-Rodríguez, I. A.-R.-G. (2015). Hexavalent chromium(VI) removal by *Penicillium* sp. IA-01. In: Shiomi, Naofumi (Ed.), *Advances in Bioremediation of Wastewater and Polluted Soil*.
- ANSI/ASTM. (1977). *Standard test methods for alpha-cellulose in wood*. Washington DC: American National Standard Institute.
- ANSI/ASTM. (1977). *Standard test methods for lignin in wood*. Washington DC: American National Standard Institute.
- Arauzo, M., Rivera, M., Valladolid, M., Noreña, C., & Cedenilla, O. (2003). Contaminación por cromo en el agua intersticial, en el agua del cauce y en los sedimentos del río Jarama. *Limnetica*.
- ASTM. (1998). Standard Test Method for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass. En *The Annual Book of ASTM Standards*.
- Barceló, J., Poschenrieder, C., & Gunsé, B. (1987). El impacto del cromo en el medio ambiente. *Circular Farmaceutica*, 31-48.
- Benitez, N. (2011). PRODUCCIÓN LIMPIA Y BIORREMEDIACIÓN PARA DISMINUCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN POR CROMO EN LA INDUSTRIA DE CURTIEMBRES. *Doctorado Interinstitucional en Ciencias Ambientales*, 25-31.
- Boni, M., & Sbaffoni, S. (2009). The potential of compost-based biobarriers for Cr(VI) removal from contaminated groundwater. *Journal of Hazardous Materials*, 1087-1095.
- Browning, B. (1967). *Methods of wood chemistry*. New York: Interscience Publishers.
- Carrot, P., Ribeiro, M., & Suhas, D. (2006). Lignin – from natural adsorbent to activated carbon: A review. *Bioresource Technology* 98, 2301-2312.

- Chen, X. (2015). Modeling of Experimental Adsorption Isotherm Data. *International Journal of Environmental Research and Public Health*.
- Chiang, Y., Ghyselbrecht, K., Santos, R., & Martens, J. (2012). Adsorption of multiheavy metals onto water treatment residuals. *Chemical Engineering Journal*, 200-202.
- Delamare. (2000). *Los colores. Historia de los pigmentos y colorantes*. España: Guineau Ediciones.
- Duruibe, J., Ogwuegbu, M., & Egwurugwu, J. (2007). Contaminación de Metales Pesados y Efectos Biotóxicos Humanos. *International Journal of Physical Sciences*, 2(5), 112-118.
- Eggs, N., Salvarezza, S., Azario, R., Fernández, N., & García, M. (2012). Adsorción de cromo hexavalente en la cáscara de arroz modificada químicamente. *Avances en Ciencias e Ingeniería*, 141-151.
- Esparza, E., & Gamboa, N. (2001). CONTAMINACIÓN DEBIDA A LA INDUSTRIA CURTIEMBRE. *Revista de Química*, 15.
- Fernández, G., & Guzmán, A. (2000). *Presencia Antropogénica de Cromo (Cr) en el Ambiente y su Impacto en la Salud de los Pobladores de las Toscas (Santa Fe - Argentina)*. Recuperado de: <http://www.ambiente-ecologico.com/ediciones/072-07-2000/072-aldoguzmanramos.html>
- Gansser, A. (1953). *Manual del Curtidor*. Barcelona: Gustavo Gili S.A.
- Ghada, M., Ola, E.-S., & Nady, F. (2017). Preparation of Carbonaceous Hydrochar Adsorbents from Cellulose and Lignin Derived from Rice Straw. *National Information and Documentation Center (NIDOC)*, 793-804.
- Gomez, V., Velásquez, J., & Quintana, G. (2013). LIGNINA COMO ADSORBENTE DE METALES PESADOS. *Revista Investigaciones Aplicadas*, 74-85.
- Haug, T. (1993). *The Practical Handbook of Compost Engineering*.

- Herrejón, M., Limón, B., & Martínez, V. (2008). Cinética e isotermas de adsorción de Pb(II) en suelo de Monterrey. *Ingenierías*.
- Hintermeyer, B., Lacour, N., & Tavani, E. (2013). REUTILIZACIÓN DEL CROMO(III) CONTENIDO EN EL LÍQUIDO RESIDUAL DE CURTIDO. *Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires*.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización . (2013). Agua, Calidad del agua, muestreo, manejo y conservación de muestras. *INEN*.
- Khalfaouy, R., Elabed, A., Khallouk, K., Knidri, H., Belaabed, R., Addaou, A., . . . Lahsini, A. (2016). Microfiltration process for tannery wastewater treatment from a leather industry in Fez-Morocco area. *Materials and Environmental Sciences*.
- Khan, S., Khwaja, M., Khan, A., & H Ghani, S. K. (1999). *Environmental impacts and mitigation costs of cloth and leather exports from Pakistan*. Islamabad: Sustainable Development Policy Institute.
- Lasaridi, K., Protopapa, I., Kotsou, M., Pilidis, G., Manios, T., & Kyriacou, A. (2006). Quality assessment of composts in the Greek market: The need for standards and quality assurance. *Journal of Environmental Management*, 58-65.
- Lazo, J., Navarro, A., Sun-Kou, M., & Llanos, B. (2008). Síntesis y caracterización de arcillas organofílicas y su aplicación como adsorbentes del fenol. *Revista de la Sociedad Química del Perú*.
- Lenntech. (2005). *Lenntech*. Recuperado de:  
<https://www.lenntech.com/processes/heavy/heavy-metals/heavy-metals.htm>
- Levin, R., & Rubin, D. (2004). *Estadística para Administración y Economía*. México: Pearson Education .
- MAE. (2013). Estudio de Potenciales Impactos Ambientales y Vulnerabilidades relacionada con las sustancias químicas y tratamiento de desechos peligrosos en el sector productivo del Ecuador.

- MAE. (2013). LA INDUSTRIA DE LOS CUEROS (A BASE DE SALES DE CROMO, CON AGENTES VEGETALES). Quito.
- Marrett, L., Hartge, P., & Meigs, J. (1986). Bladder cancer and occupational exposure to leather. *Br J Ind Med*, 96-100.
- McCabe, W., Smith, J., & Harriott, P. (1991). *Operaciones Unitarias en Ingeniería Química*. Madrid.
- Mella, B., Carvalho, B., Silva, D., & Gutterres, M. (2017). Treatment of Leather Dyeing Wastewater with Associated Process of Coagulation-Flocculation/ Adsorption/Ozonation. *Ozone: Science & Engineering*, 22-38.
- Mijaylova, P., López, S., Cardoso, L., & Ramírez, E. (S.f). Tratamiento de efluentes del proceso de curtido al cromo. *Instituto Mexicano de Tecnología del Agua* .
- Molina, N., Aguilar, P., & Cordovez, C. (2010). Plomo, cromo III y cromo VI y sus efectos sobre la salud humana. *Ciencia & Tecnología para la Salud*, 77-88.
- Mondal, N., Saxena, V., & Singh, V. (2005). Impact of pollution due to tanneries on groundwater regime. *Current Science*.
- Nemerow, N. (1977). *Aguas residuales industriales; teorías, aplicaciones y tratamiento*. Madrid: Hernán Blume.
- Ogedengbe, K., & Akinbile, C. (2004). Impact of industrial pollutants on quality of ground and surface waters at Oluyole Industrial Estate, Ibadan, Nigeria. *J. Technol. Develop*, 139-144.
- Olivero, J., Jaramillo, B., & Duarte, E. (2009). Remoción de Cromo de aguas residuales de curtiembres usando quitosan obtenido de desechos de camaron.
- Pavithra, G., Kumar, S., Christopher, F., & Saravanan, A. (2017). Removal of toxic Cr(VI) ions from tannery industrial wastewater using a newly

designed three-phase three-dimensional electrode reactor. *Physics and Chemistry of Solids*, 379-385.

Pechova, A., & Pavlata, L. (2007). *Chromium as an essential nutrient*. Jalisco.

Ponce, J. (2006). Adsorción.

Raisman, J., & Gonzalez, A. (Enero de 2007). *Biología*. Recuperado de:  
[http://www.biologia.edu.ar/tesis/forcillo/curtido\\_al\\_cromo.htm](http://www.biologia.edu.ar/tesis/forcillo/curtido_al_cromo.htm)

Santana, A. (2016). El cumplimiento de las Normas Ambientales y su relación con la competitividad de las PYMES del sector curtiembre del cantón Ambato.

Tejada, C., Villabona, Á., & Garcés, L. (2015). Adsorción de metales pesados en aguas residuales usando materiales de origen biológico. *Tecno Lógicas*, 109-123.

Vargas, C. (2012). Estudio de la viabilidad del compost para remover Cr(VI) de soluciones. *Universidad Nacional de Colombia*.

Vera, F. (2000). LA SUSTENTABILIDAD DE AMBATO . *ESPACIO Y DESARROLLO*.

Zapata, L. (S.f). *Manual Práctico de Curtido Natural de Cueros y Producción de Artesanías*. Faunagua.

Zárate, M., Rojas, C., & Porst, J. (1993). *Guía técnica para la minimización de residuos en curtiembres*. Lima.

## **ANEXOS**

**Anexo 1.- Análisis Físicoquímico del proceso de curtido al Cromo.**



Orden de trabajo N° 181548  
Hoja 1 de 1

**NOMBRE:** Juan Carlos Miranda Urrutia  
**DIRECCIÓN:** Antonio Navarro y Carlos Tobar  
**MUESTRA:** Agua de curtiembre  
**CARACTERÍSTICA DE LA MUESTRA:** Líquido color negro  
**ANÁLISIS:** Físico químico  
**FECHA DE RECEPCIÓN:** 14 de marzo del 2018  
**FECHA DE TOMA DE MUESTRA:** 13 de marzo del 2018  
**FECHA DE VENCIMIENTO:** —  
**LOCALIZACIÓN:** Ambato  
**ENVASE:** Botella PET  
**REFERENCIA:** 181548  
**FECHA DE REALIZACIÓN DE ENSAYO:** 14 – 22 de marzo del 2018  
**MUESTREADO POR:** El Cliente  
**CONDICIONES AMBIENTALES:** 23.6°C 23%HR

ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO	RESULTADO	UNIDAD	METODO
pH (20°C):	3.41		PEE/LA/10 INEN ISO 10523
CONDUCTIVIDAD:	107 200	µS/cm	Std. Methods APHA 2510
SOLIDOS TOTALES (a 105°C):	97 704	mg/l	Std. Methods APHA 2540 B
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES (a 105°C):	43 650	mg/l	Std. Methods APHA 2540 C
SOLIDOS SUSPENDIDOS (a 105 °C) :	54 054	mg/l	Std. Methods APHA 2540 D
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	3 700	mg/l	Std. Methods APHA 5210 D
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO	4 840	mg/l	Std. Methods APHA 5220 D
CROMO	7 205.40	mg/l	Std. Methods APHA 3111 B Modificado

  
 Dra. Cecilia Latorre  
 GERENTE GENERAL

El presente informe solo es válido para la muestra analizada.  
 Este informe no debe reproducirse más que en su totalidad previa autorización escrita de LABOLAB.



**INFORME TÉCNICO, FICHA DE ESTABILIDAD, INFORMACIÓN NUTRICIONAL PARA NOTIFICACION SANITARIA**

Análisis físico, químico, microbiológico, entomológico de: alimentos, aguas, bebidas, materias primas, balanceados, cosméticos, pesticidas, suelos, metales pesados y otros.  
 Fco. Andrade Marín E7-29 y Diego de Almagro Telf.: 2563-225 / 2561-350 / 3228-507 / 3228-504 Cel.: 099 959 0412 / 099 944 2153 / 099 709 1691  
 E-mails: secretaria@labotab.com.ec / servicioalcliente@labotab.com.ec / ceciliaatorre@labotab.com.ec / informes@labotab.com.ec

[www.labotab.com.ec](http://www.labotab.com.ec)

Quito – Ecuador

## **Anexo 2.- Cálculos de la determinación de lignina**

### **Kompost**

---

<b>Kompost</b>	
Peso muestra	0.9998
Peso papel filtro	0.5529
Peso crisol	74.2647
Peso total entra estufa	75.6585
Peso total sale estufa	75.0593
Peso total sale mufla	74.4691

---

#### **MATERIA ORGANICA LIGNINA:**

---

PESO SECO	0.2417
PESO CENIZAS	0.120245247
PESO MO	0.121454753
%MOlig	50.25%
%LIGNINA	22.46%

### **Agropesa**

---

<b>Agropesa</b>	
Peso muestra	1.0068
Peso papel filtro	0.5079
Peso crisol	75.8413
Peso total entra estufa	77.249
Peso total sale estufa	76.6306
Peso total sale mufla	76.0388

---

#### **MATERIA ORGANICA LIGNINA:**

---

PESO SECO	0.2814
PESO CENIZAS	0.109675528
PESO MO	0.171724472

<b>%MOlig</b>	<b>61.03%</b>
<b>%LIGNINA</b>	<b>33.50%</b>

### **La Moquita**

#### **La Moquita**

<b>Peso muestra</b>	<b>1.0166</b>
<b>Peso papel filtro</b>	<b>0.487</b>
<b>Peso crisol</b>	<b>77.4487</b>
<b>Peso total entra estufa</b>	<b>79.0283</b>
<b>Peso total sale estufa</b>	<b>78.4215</b>
<b>Peso total sale mufla</b>	<b>77.9636</b>

#### **MATERIA ORGANICA LIGNINA:**

<b>PESO SECO</b>	<b>0.4858</b>
<b>PESO CENIZAS</b>	<b>0.429724383</b>
<b>PESO MO</b>	<b>0.056075617</b>
<b>%MOlig</b>	<b>11.54%</b>
<b>%LIGNINA</b>	<b>8.59%</b>

### **Anexo 3.- Cálculos de la determinación de Holocelulosa**

#### **Kompost**

#### **Kompost**

<b>Peso muestra</b>	<b>2.0108</b>
<b>Peso papel filtro</b>	<b>0.678</b>
<b>Peso crisol</b>	<b>75.8507</b>
<b>Peso total entra estufa</b>	<b>77.2697</b>
<b>Peso total sale estufa</b>	<b>77.1524</b>
<b>Peso total sale mufla</b>	<b>76.5244</b>

<b>MATERIA ORGANICA HOLOCELULOSA</b>	
<b>PESO SECO</b>	0.6237
<b>PESO CENIZAS</b>	0.499850473
<b>PESO MO</b>	0.123849527
<b>%MOholo</b>	19.86%

<b>HUMEDAD HOLOCELULOSA:</b>	
<b>PESO HUMEDO</b>	0.741
<b>PESO SECO</b>	0.6237
<b>Hholo</b>	15.83%
<b>%HOLOCELULOSA</b>	11.39%

### Agropesa

<b>Agropesa</b>	
<b>Peso muestra</b>	2.0057
<b>Peso papel filtro</b>	0.518
<b>Peso crisol</b>	77.4338
<b>Peso total entra estufa</b>	78.6886
<b>Peso total sale estufa</b>	78.6222
<b>Peso total sale mufla</b>	77.9494

<b>MATERIA ORGANICA HOLOCELULOSA</b>	
<b>PESO SECO</b>	0.6704
<b>PESO CENIZAS</b>	0.429144826
<b>PESO MO</b>	0.241255174
<b>%MOholo</b>	35.99%

<b>HUMEDAD HOLOCELULOSA:</b>	
<b>PESO HUMEDO</b>	0.7368
<b>PESO SECO</b>	0.6704
<b>Hholo</b>	9.01%
<b>%HOLOCELULOSA</b>	23.63%

## La Moquita

---

La Moquita	
Peso muestra	2.0092
Peso papel filtro	0.5715
Peso crisol	74.6361
Peso total entra estufa	76.4463
Peso total sale estufa	76.3594
Peso total sale mufla	75.7468

---

MATERIA ORGANICA HOLOCELULOSA	
PESO SECO	1.1518
PESO CENIZAS	1.024401197
PESO MO	0.127398803
%MOholo	11.06%

---

HUMEDAD HOLOCELULOSA:	
PESO HUMEDO	1.2387
PESO SECO	1.1518
Hholo	7.02%
%HOLOCELULOSA	9.88%

### *Anexo 4.- Cálculos para la determinación de Celulosa*

## Kompost

---

Kompost	
Peso muestra	1.0013
Peso papel filtro	0.5649
Peso crisol	61.3953
Peso total entra estufa	64.8736
Peso total sale estufa	62.3136
Peso total sale mufla	61.8003

---

---

**MATERIA ORGANICA CELULOSA:**

<b>PESO SECO</b>	0.3534
<b>PESO CENIZAS</b>	0.235840668
<b>PESO MO</b>	0.117559332
<b>%MOcel</b>	33.27%

---

**HUMEDAD CELULOSA:**

<b>PESO HUMEDO</b>	2.9134
<b>PESO SECO</b>	0.3534
<b>Hholo</b>	87.87%
<b>%CELULOSA</b>	8.00%

**Agropesa**

---

**Agropesa**

<b>Peso muestra</b>	1.0251
<b>Peso papel filtro</b>	0.4851
<b>Peso crisol</b>	57.2121
<b>Peso total entra estufa</b>	60.6995
<b>Peso total sale estufa</b>	58.1695
<b>Peso total sale mufla</b>	57.5868

---

**MATERIA ORGANICA CELULOSA:**

<b>PESO SECO</b>	0.4723
<b>PESO CENIZAS</b>	0.2857396
<b>PESO MO</b>	0.1865604
<b>%MOcel</b>	39.50%

---

**HUMEDAD CELULOSA:**

<b>PESO HUMEDO</b>	3.0023
<b>PESO SECO</b>	0.4723
<b>Hholo</b>	84.27%
<b>%CELULOSA</b>	13.13%

**La Moquita**

---

**La Moquita**

---

<b>Peso muestra</b>	1.025
<b>Peso papel filtro</b>	0.5664
<b>Peso crisol</b>	44.0527
<b>Peso total entra estufa</b>	47.7807
<b>Peso total sale estufa</b>	45.2107
<b>Peso total sale mufla</b>	44.7385

---

---

**MATERIA ORGANICA CELULOSA:**

---

<b>PESO SECO</b>	0.5916
<b>PESO CENIZAS</b>	0.51354494
<b>PESO MO</b>	0.07805506
<b>%MOcel</b>	13.19%

---

---

**HUMEDAD CELULOSA:**

---

<b>PESO HUMEDO</b>	3.1616
<b>PESO SECO</b>	0.5916
<b>Hholo</b>	81.29%
<b>%CELULOSA</b>	7.32%

---

*Anexo 5.- Humedad y Cenizas*

**Kompost**

---

**Kompost**

---

<b>Peso muestra</b>	10.1002
<b>Peso crisol</b>	37.5275
<b>Peso total entra estufa</b>	47.6277
<b>Peso total sale estufa</b>	42.9894
<b>Peso total sale mufla</b>	41.2882

---

---

<b>PESO HUMEDO</b>	<b>10.1002</b>
<b>PESO SECO</b>	5.4619

---

<b>HUMEDAD</b>	<b>45.92%</b>
<b>% MATERIA SECA</b>	<b>54.08%</b>

<b>PESO SECO</b>	<b>5.4619</b>
<b>PESO CENIZAS</b>	<b>3.7607</b>
<b>% CENIZAS SOBRE PESO SECO</b>	<b>68.85%</b>
<b>% MO TOTAL SOBRE PESO SECO</b>	<b>31.15%</b>

<b>PESO HUMEDO</b>	<b>10.1002</b>
<b>PESO CENIZAS</b>	<b>3.7607</b>
<b>% CENIZAS SOBRE PESO HUMEDO</b>	<b>37.23%</b>
<b>% MO TOTAL SOBRE PESO HUMEDO</b>	<b>62.77%</b>

<b>PAPEL FILTRO GRUESO</b>	
<b>PESO PAPEL</b>	<b>1.2634</b>
<b>PESO CRISOL</b>	<b>29.1322</b>
<b>PESO TOTAL ENTRA A ESTUFA</b>	<b>30.3959</b>
<b>PESO TOTAL SALE DE ESTUFA</b>	<b>30.3683</b>
<b>PESO TOTAL SALE DE MUFLA</b>	<b>29.1355</b>

<b>PESO SECO</b>	<b>1.2361</b>
<b>PESO CENIZAS</b>	<b>0.0033</b>
<b>%CENIZAS</b>	<b>0.27%</b>

**Agropesa**

---

**Agropesa**

<b>Peso muestra</b>	<b>10.0393</b>
<b>Peso crisol</b>	<b>39.418</b>
<b>Peso total entra estufa</b>	<b>49.4573</b>

<b>Peso total sale estufa</b>	44.5289
<b>Peso total sale mufla</b>	41.7014

<b>PESO HUMEDO</b>	<b>10.0393</b>
<b>PESO SECO</b>	5.1109
<b>HUMEDAD</b>	49.09%
<b>% MATERIA SECA</b>	50.91%

<b>PESO SECO</b>	<b>5.1109</b>
<b>PESO CENIZAS</b>	2.2834
<b>% CENIZAS SOBRE PESO SECO</b>	44.68%
<b>% MO TOTAL SOBRE PESO SECO</b>	55.32%

<b>PESO HUMEDO</b>	<b>10.0393</b>
<b>PESO CENIZAS</b>	2.2834
<b>% CENIZAS SOBRE PESO HUMEDO</b>	22.74%
<b>% MO TOTAL SOBRE PESO HUMEDO</b>	77.26%

<b>PAPEL FILTRO GRUESO</b>	
<b>PESO PAPEL</b>	1.2634
<b>PESO CRISOL</b>	29.1322
<b>PESO TOTAL ENTRA A ESTUFA</b>	30.3959
<b>PESO TOTAL SALE DE ESTUFA</b>	30.3683
<b>PESO TOTAL SALE DE MUFLA</b>	29.1355

<b>PESO SECO</b>	<b>1.2361</b>
<b>PESO CENIZAS</b>	0.0033
<b>%CENIZAS</b>	0.27%

**La Moquita**

---

**La Moquita**

---

<b>Peso muestra</b>	10.0725
<b>Peso crisol</b>	32.3369
<b>Peso total entra estufa</b>	42.4094
<b>Peso total sale estufa</b>	38.8015
<b>Peso total sale mufla</b>	37.667

---

<b>PESO HUMEDO</b>	<b>10.0725</b>
<b>PESO SECO</b>	6.4646
<b>HUMEDAD</b>	35.82%
<b>% MATERIA SECA</b>	64.18%

---

<b>PESO SECO</b>	<b>6.4646</b>
<b>PESO CENIZAS</b>	5.3301
<b>% CENIZAS SOBRE PESO SECO</b>	82.45%
<b>% MO TOTAL SOBRE PESO SECO</b>	17.55%

---

<b>PESO HUMEDO</b>	<b>10.0725</b>
<b>PESO CENIZAS</b>	5.3301
<b>% CENIZAS SOBRE PESO HUMEDO</b>	52.92%
<b>% MO TOTAL SOBRE PESO HUMEDO</b>	47.08%

---

<b>PAPEL FILTRO GRUESO</b>	
<b>PESO PAPEL</b>	1.2634
<b>PESO CRISOL</b>	29.1322
<b>PESO TOTAL ENTRA A ESTUFA</b>	30.3959
<b>PESO TOTAL SALE DE ESTUFA</b>	30.3683
<b>PESO TOTAL SALE DE MUFLA</b>	29.1355

---

<b>PESO SECO</b>	<b>1.2361</b>
<b>PESO CENIZAS</b>	0.0033
<b>%CENIZAS</b>	0.27%

**Anexo 6.- Cálculos para la determinación de las Isotermas**

<b>LECTURA ABSORBANCIA</b>			
<b>Cantidad fibra (g)</b>	<b>500 ppm</b>	<b>1000 ppm</b>	<b>1500 ppm</b>
0	0.018	0.078	0.106
10	0.036	0.034	0.06
25	0.016	0.018	0.047
50	0.006	0.022	0.023

**Nota:** Los datos en rojo se eliminaron para la elaboración de las isotermas.

<b>CONCENTRACIÓN DE Cr EN EL EQUILIBRIO (mg/l)</b>			
<b>Cantidad fibra (g)</b>	<b>500 ppm</b>	<b>1000 ppm</b>	<b>1500 ppm</b>
0	512.838	2222.298	3020.046
10		968.694	1709.46
25		512.838	1339.077
50	170.946	626.802	655.293

<b>CANTIDAD DE cromo (mg)</b>			
<b>Cantidad fibra (g)</b>	<b>500 ppm</b>	<b>1000 ppm</b>	<b>1500 ppm</b>
0	256.419	1111.149	1510.023
10		484.347	854.73
25		256.419	669.5385
50	85.473	313.401	327.6465

<b>CANTIDAD DE cromo RETENIDA EN LA FIBRA (X, mg)</b>			
<b>Cantidad fibra (g)</b>	<b>500 ppm</b>	<b>1000 ppm</b>	<b>1500 ppm</b>
0	0	0	0
10		626.802	655.293
25		854.73	840.4845
50	170.946	797.748	1182.3765

Cantidad fibra (g)	q (mg/g)		
	500 ppm	1000 ppm	1500 ppm
10		62.6802	65.5293
25		34.1892	33.61938

