



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

1 de 2

Neiva, 11 de Enero de 2018

Señores

CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Ciudad

El (Los) suscrito(s):

Leidy Carolina Mosquera Rivera, con C.C. No. 1075285815,

Nathalie Leal Gómez, con C.C. No. 1075294471,

autor (es) de la tesis y/o trabajo de grado titulado: Estudio de la Extracción de Pectina de Cáscaras de Cholupa (*Passiflora Maliformis*) y Evaluación del Uso como Coagulante para la Remoción de Cromo (Cr) en Aguas de Curtiembre.

presentado y aprobado en el año 2018 como requisito para optar al título de

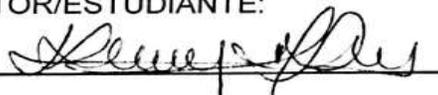
Ingeniero(a) Agrícola _____;

Autorizo (amos) al CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN de la Universidad Surcolombiana para que con fines académicos, muestre al país y el exterior la producción intelectual de la Universidad Surcolombiana, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en los sitios web que administra la Universidad, en bases de datos, repositorio digital, catálogos y en otros sitios web, redes y sistemas de información nacionales e internacionales "open access" y en las redes de información con las cuales tenga convenio la Institución.
- Permita la consulta, la reproducción y préstamo a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato Cd-Rom o digital desde internet, intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer, dentro de los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia.
- Continúo conservando los correspondientes derechos sin modificación o restricción alguna; puesto que de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación del derecho de autor y sus conexos.

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, "Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores", los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma: 

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma: 

Vigilada Mineducación



**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS**



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

2 de 2

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.



CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	1 de 3
---------------	---------------------	----------------	----------	-----------------	-------------	---------------	---------------

TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO: Estudio De La Extracción De Pectina De Cáscaras De Cholupa (*Passiflora Maliformis*) Y Evaluación Del Uso Como Coagulante Para La Remoción De Cromo (Cr) En Aguas De Curtiembre.

AUTOR O AUTORES:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Mosquera Rivera Leal Gómez	Leidy Carolina Nathalie

DIRECTOR Y CODIRECTOR TESIS:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Castro Camacho	Jennifer Katiusca

ASESOR (ES):

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre

PARA OPTAR AL TÍTULO DE: Ingeniero(a) Agrícola.

FACULTAD: Ingeniería.

PROGRAMA O POSGRADO: Ingeniería Agrícola.

CIUDAD: Neiva **AÑO DE PRESENTACIÓN:** 2018 **NÚMERO DE PÁGINAS:** 79

TIPO DE ILUSTRACIONES (Marcar con una X):

Diagramas X Fotografías X Grabaciones en discos___ Ilustraciones en general___ Grabados___
Láminas___ Litografías___ Mapas___ Música impresa___ Planos___ Retratos___ Sin ilustraciones___
Tablas o Cuadros X

SOFTWARE requerido y/o especializado para la lectura del documento:

Ninguno.

Vigilada mieducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.



MATERIAL ANEXO:

PREMIO O DISTINCIÓN (*En caso de ser LAUREADAS o Meritoria*):

PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS:

<u>Español</u>	<u>Inglés</u>
1. <u>Extracción Pectina</u>	<u>Pectin Extraction</u>
2. <u>Caracterización Pectina</u>	<u>Characterization Pectin</u>
3. <u>Cholupa</u>	<u>Cholupa</u>
4. <u>Remoción</u>	<u>Removal</u>
5. <u>Cromo</u>	<u>Chrome</u>

RESUMEN DEL CONTENIDO: (Máximo 250 palabras)

Esta investigación tiene como objetivo evaluar el uso de pectina extraída de cáscaras de cholupa (*Passiflora maliformis*) en la remoción de cromo (Cr) de aguas de curtiembre. Se aprovechó la disponibilidad de la cáscara de cholupa como subproducto agrícola, para la obtención de pectina mediante tres métodos de extracción: pectina sólida por secado, pectina líquida por hidrólisis ácida y pectina sólida por hidrólisis ácida y posterior secado. Se presentan los resultados obtenidos en la caracterización de la pectina basado en la determinación de rendimiento, contenido de humedad, contenido de cenizas, peso equivalente, acidez libre, grado de metoxilo y grado de esterificación; y la evaluación de su capacidad para la remoción de Cr con una concentración de 2317 mg·l⁻¹ en agua residual de curtiembre, para lo cual se estableció un diseño experimental de 3x2x2, cuyos factores están determinados por el tipo de pectina (A, B y C), el pH (3.5 y 5.0) de la muestra y la dosis de pectina (2 g·200 ml⁻¹ y 4 g·200 ml⁻¹). Se realizó análisis de varianza ANOVA multifactorial usando el programa *STATGRAPHICS®* para identificar diferencias estadísticamente significativas; el tratamiento con mejores resultados en cuanto a remoción del metal fue el T₆, cuyo porcentaje y capacidad de remoción son 33.9% y 39.3 mg cromo·g⁻¹ pectina, respectivamente. De esta manera se establece que el uso de la pectina C, aplicada sobre una muestra con un pH de 3.5, en una cantidad de 4.0 g·200 ml⁻¹ facilita el proceso de remoción de Cromo.



CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	3 de 3
--------	--------------	---------	---	----------	------	--------	--------

ABSTRACT: (Máximo 250 palabras)

This research aims to evaluate the use of pectin extracted from cholupa shells (*Passiflora maliformis*) in the removal of chromium (Cr) from tannery waters. The availability of the cholupa rind as an agricultural by-product was used to obtain pectin by three extraction methods: solid pectin by drying, liquid pectin by acid hydrolysis and solid pectin by acid hydrolysis and subsequent drying. The results obtained in the characterization of pectin are presented based on the determination of yield, moisture content, ash content, equivalent weight, free acidity, degree of methoxyl and degree of esterification; and the evaluation of its capacity for the removal of Cr with a concentration of $2317 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ in tannery wastewater, for which an experimental design of $3 \times 2 \times 2$ was established, whose factors are determined by the type of pectin (A, B and C), the pH (3.5 and 5.0) of the sample and the dose of pectin ($2 \text{ g} \cdot 200 \text{ ml}^{-1}$ and $4 \text{ g} \cdot 200 \text{ ml}^{-1}$). Multivariate ANOVA analysis of variance was performed using the STATGRAPHICS® program to identify statistically significant differences; The treatment with the best results in terms of metal removal was T6, whose percentage and removal capacity are 33.9% and $39.3 \text{ mg chrome} \cdot \text{g}^{-1} \text{ pectin}$, respectively. In this way it is established that the use of pectin C, applied on a sample with a pH of 3.5, in an amount of $4.0 \text{ g} \cdot 200 \text{ ml}^{-1}$ facilitates the process of chromium removal.

APROBACION DE LA TESIS

Nombre Jurado: Ph.D. Nelson Gutiérrez Guzmán

Firma: _____

Nombre Jurado: Dr. Javier Eduardo Sánchez Ramírez

Firma: _____

Javier Eduardo Sánchez Ramírez
cc 91 508 049

**ESTUDIO DE LA EXTRACCIÓN DE PECTINA DE CÁSCARAS DE CHOLUPA
(*Passiflora maliformis*) Y EVALUACIÓN DEL USO COMO COAGULANTE PARA LA
REMOCIÓN DE CROMO (Cr) EN AGUAS DE CURTIEMBRE.**

LEIDY CAROLINA MOSQUERA RIVERA

NATHALIE LEAL GOMEZ

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

NEIVA

2017

**ESTUDIO DE LA EXTRACCIÓN DE PECTINA DE CÁSCARAS DE CHOLUPA
(*Passiflora maliformis*) Y EVALUACIÓN DEL USO COMO COAGULANTE PARA LA
REMOCIÓN DE CROMO (Cr) EN AGUAS DE CURTIEMBRE.**

TRABAJO DE GRADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO AGRÍCOLA

LEIDY CAROLINA MOSQUERA RIVERA

NATHALIE LEAL GOMEZ

DIRECTOR: JENNIFER KATIUSCA CASTRO

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

NEIVA

2017

Nota de Aceptación:

Jennifer Katusca Castro Camacho
MSc. Jennifer Katusca Castro Camacho
Firma del Director del Proyecto


Ph.D. Nelson Gutiérrez Guzmán
Firma del Jurado

Javier Eduardo Sánchez Ramírez
Jurista cc 91 508 049

Ph.D. Javier Eduardo Sánchez Ramírez
Firma del Jurado

Dedicatoria

Dedicado a mi madre

por su amor y su apoyo incondicional

A mis abuelos

Por enseñarme a hacer las cosas con amor

A mi hermana

Por su ejemplo de constancia y sabiduría

A mis sobrinos

Por ser motor para el cumplimiento de mis metas

A demás familiares y amigos

Por hacer parte de este proceso de aprendizaje.

Dedicatoria

Principalmente a Dios,

por permitirme dar este paso y dedicarlo a las siguientes personas:

A Mi madre Dalys, mis hermanos Yojan Camilo y José Miguel

por representar lo más valioso que tengo y ser el motor de mi vida,

A los seres queridos que hoy me acompañan desde el cielo, mi abuelo Alfredo por ser

mi padre y Danielita por enseñarme el verdadero valor de la familia,

A mi abuelita Mariela

por haberme inculcado sus principios y ser mi fortaleza,

a mi novio Cristhian Andrés

por ser mi apoyo incondicional, enseñarme a amar y compartir conmigo su familia,

a mi prima Flor Mireya

por ser mi amiga y hermana del alma,

a mi Ahijado Martín

por llenarme de alegría y ser mi motivación,

A mis tíos y tías, familia Gómez

Por el cariño y apoyo que siempre me han brindado,

y a demás familiares y amigos

por formar parte de este camino.

Agradecimientos

Primero queremos agradecer a Dios por haber guiado nuestro camino, por permitir formarnos como futuras profesionales y por mantenernos unidas tras la adversidad o el desaliento.

A nuestra directora Jennifer Katusca Castro Camacho, por brindarnos su apoyo y su conocimiento cuando lo necesitamos, por su confianza, entusiasmo y amistad desde que iniciamos nuestra carrera hasta el día de hoy.

A Victor Alfonso Ramírez, docente de la Universidad Corhuila, por asesorarnos y apoyarnos en el proceso.

A nuestro guía, el profesor Néstor Enrique Cerquera, quien siempre estuvo con la mejor energía y toda la disposición para ayudarnos.

A nuestros jurados, por los aportes dados al planteamiento inicial del proyecto y por el tiempo dedicado a evaluar nuestra investigación.

A Ronald Camilo Salazar por tener la mayor disposición de ayudarnos y de animarnos a continuar con este hermoso proyecto.

A nuestros amigos Cristhian, Felipe y demás, porque a pesar de no hacer parte de la investigación, aportaron sus esfuerzos para el cumplimiento del objetivo.

¡Mil gracias todos!

Resumen

La presente investigación tiene como objetivo evaluar el uso de pectina extraída de cáscaras de cholupa (*Passiflora maliformis*) en la remoción de cromo (Cr) de aguas de curtiembre como una alternativa de solución tanto al impacto ambiental generado por la acumulación de residuos orgánicos, como al provocado por el vertimiento de aguas residuales del curtido de las pieles. La alternativa consistió en aprovechar la alta disponibilidad de la cáscara de cholupa como subproducto agrícola, para la obtención de pectina mediante tres métodos de extracción: pectina sólida por secado, pectina líquida por hidrólisis ácida y pectina sólida por hidrólisis ácida y posterior secado. Se presentan los resultados obtenidos en la caracterización de la pectina basado en la determinación de rendimiento, contenido de humedad, contenido de cenizas, peso equivalente, acidez libre, grado de metoxilo y grado de esterificación; y la evaluación de su capacidad como coagulante para la remoción de Cr con una concentración de $2317 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ en agua residual de curtiembre, para lo cual se estableció un diseño experimental de $3 \times 2 \times 2$, cuyos factores están determinados por el tipo de pectina (A, B y C), el pH (3.5 y 5.0) de la muestra y la dosis de pectina empleada ($2 \text{ g}\cdot 200 \text{ ml}^{-1}$ y $4 \text{ g}\cdot 200 \text{ ml}^{-1}$). Se realizó análisis de varianza ANOVA multifactorial usando el programa estadístico *STATGRAPHICS*® para identificar diferencias estadísticamente significativas; el tratamiento con mejores resultados en cuanto a remoción del metal fue el T₆, cuyo porcentaje y capacidad de remoción son 33.9% y $39.3 \text{ mg cromo}\cdot\text{g}^{-1}$ pectina, respectivamente. De esta manera se establece que el uso de la pectina C, aplicada sobre una muestra con un pH de 3.5, en una cantidad de $4.0 \text{ g}\cdot 200 \text{ ml}^{-1}$ facilita el proceso de remoción de Cromo.

Palabras clave: extracción de pectina, caracterización de pectina, remoción de cromo.

Abstract

The present research aims to evaluate the use of pectin extracted from cholupa husks (*Passiflora maliformis*) in the removal of chromium (Cr) from tannery waters, generating an alternative solution both to the environmental impact generated by the accumulation of organic residues, to the contamination provoked due to the dumping of residual waters of tanning of the skins. The alternative is to take advantage of the high availability of the cholupa husk as an agricultural byproduct to obtain pectin by three different methods of extraction: solid pectin by drying, liquid pectin by acid hydrolysis and solid pectin by acid hydrolysis and subsequent drying. The results obtained in the characterization of the pectin based on the determination of yield, moisture content, ash content, equivalent weight, free acidity, degree of methoxyl and degree of esterification are presented; and the evaluation of its capacity as coagulant for the removal of Cr present in a concentration of $2317 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ in tannery residual water, for which an experimental design of $3 \times 2 \times 2$ was established, whose factors are determined by the type of pectin (A, B and C), pH (3.5 and 5.0) of the sample and the dose of pectin used ($2 \text{ g}\cdot 200 \text{ ml}^{-1}$ and $4 \text{ g}\cdot 200 \text{ ml}^{-1}$). Multivariate ANOVA variance analysis was performed using the statistical program STATGRAPHICS® to identify statistically significant differences; the treatment that showed the best results in terms of metal removal was T6, whose percentage and removal capacity were 33.9% and $39.3 \text{ mg of chromium}\cdot\text{g}^{-1}$ pectin, respectively. In this way it is established that the use of pectin C, applied on a sample with a pH of 3.5, in an amount of $4.0 \text{ g}\cdot 200 \text{ ml}^{-1}$ facilitates the removal process of chromium.

Keywords: extraction of pectin, characterization of pectin, removal of chromium

TABLA DE CONTENIDO

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	13
1.1. Antecedentes	14
1.2. Objetivos	18
1.2.1. Objetivo general.....	18
1.2.2. Objetivos específicos.....	18
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO.....	19
2.1. Generalidades de la Cholupa.....	19
2.1.1. Descripción de la planta - fruto y clasificación botánica.....	20
2.1.2. Usos e importancia de la cholupa dentro del mercado.	21
2.2. La Pectina.....	22
2.2.1. Clasificación de las sustancias pécticas.....	22
2.2.2. Estructura y composición.	23
2.2.3. Aplicaciones y usos.	25
2.3. Aguas Residuales Tipo Curtiembre.....	25
2.3.1. Composición.....	26
2.3.2. Impacto ambiental	26
2.4. Cromo (Cr).....	28
2.4.1. Tratamientos para su remoción.....	28
2.4.1.1. <i>Uso de biomateriales adsorbentes.....</i>	<i>29</i>
CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA.....	30
3.1. Revisión Bibliográfica.....	30
3.2. Materia Prima.....	30
3.2.1. Recolección.	30
3.2.2. Selección y lavado de materia prima.....	31
3.2.3. Acondicionamiento de la materia prima.....	31
3.2.4. Obtención de Pectina.....	32
3.2.5. Extracción de pectina sólida (método A)	32
3.2.6. Extracción de pectina líquida (método B).	34

3.2.7. Extracción de pectina sólida (método C).....	35
3.3. Caracterización de la Pectina	39
3.3.1. Identificación experimental.	39
3.3.2. Determinación de contenido de humedad.	39
3.3.3. Determinación de contenido de cenizas.	40
3.3.4. Determinación de peso equivalente y acidez libre	41
3.3.5. Determinación de contenido de metoxilo.....	42
3.3.6. Determinación de grado de esterificación.	45
3.4. Aplicación de Tratamientos al agua Residual de Curtiembre	45
3.4.1. Recolección del agua residual y determinación de los niveles de cromo por absorción atómica (AA).	45
3.4.2. Diseño experimental.	46
3.4.3. Aplicación de tratamientos y determinación de concentración de cromo.	47
3.5. Procesamiento y Estudio Estadístico.....	51
CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	52
4.1. Caracterización de la Pectina	52
4.1.1. Rendimiento.....	52
4.1.2. Identificación experimental de la pectina	53
4.1.3. Contenido de Humedad (%).	54
4.1.4. Contenido de cenizas (%).	56
4.1.5. Peso equivalente y acidez libre.....	57
4.1.6. Contenido de metoxilo, grado de esterificación y ácido galacturónico.	58
4.2. Resultados de Remoción de Cromo	59
4.2.1. Análisis estadístico de los porcentajes de remoción en las aguas de curtiembre	62
CONCLUSIONES	68
RECOMENDACIONES.....	70
LISTA DE REFERENCIAS	71
APÉNDICE A.....	78
APÉNDICE B	79

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Parámetros y/o Variables Aplicados en otras Investigaciones.....	17
Tabla 2 Clasificación Botánica de la Cholupa.....	21
Tabla 3 Clasificación de las sustancias pécticas.....	22
Tabla 4 Parámetros instrumentales para la cuantificación de cromo por AA.....	50
Tabla 5 Rendimiento del proceso de extracción de pectina.....	52
Tabla 6 Pruebas de identificación pectinas A y C.....	53
Tabla 7 Prueba de identificación pectina B.....	54
Tabla 8 Contenido de humedad de la pectina A, B y C.....	54
Tabla 9 Contenido de cenizas de la Pectina A y C.....	56
Tabla 10 Peso equivalente y Acidez libre de la pectina A y C.....	57
Tabla 11 Contenido metoxilo y grado de esterificación de la pectina A, B y C.....	58
Tabla 12 Resultados de remoción de Cromo (Cr) tratamientos con pH 3.5.....	59
Tabla 13 Resultados de remoción de Cromo (Cr) tratamientos con pH 5.0.....	60
Tabla 14 Análisis de Varianza para Remoción (%) – Suma de Cuadrados Tipo III.....	62
Tabla 15 Pruebas de Múltiple Rangos para Remoción (%) por pH.....	62
Tabla 16 Medias por Mínimos Cuadrados para Remoción (%).....	63

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> Cultivo de cholupa (<i>passiflora maliformis</i> L.).....	19
<i>Figura 2.</i> Flor de la planta de la cholupa (<i>passiflora maliformis</i> L.).....	20
<i>Figura 3.</i> Cholupa (<i>passiflora maliformis</i> L.).....	20
<i>Figura 4.</i> Pectina de Alto grado Metoxilo (PAM) con 80% Grado de esterificación (GE).....	23
<i>Figura 5.</i> Pectina de Bajo grado Metoxilo (PBM) con 20% Grado de esterificación (GE).....	24
<i>Figura 6.</i> Efectos de la contaminación de curtiembres sobre el medio ambiente.....	27
<i>Figura 7.</i> Materia prima recolectada en Surabastos de Neiva.....	31
<i>Figura 8.</i> Selección de la materia prima.....	31
<i>Figura 9.</i> Extracción de pectina sólida (método A).....	32
<i>Figura 10.</i> Curva de secado de cáscara de Cholupa.....	33
<i>Figura 11.</i> Trituración de pectina en mortero.....	33
<i>Figura 12.</i> Molienda de pectina.....	33
<i>Figura 13.</i> Tamizado de pectina.....	33

<i>Figura 14.</i> Extracción de pectina líquida (método B).....	34
<i>Figura 15.</i> Extracción de pectina sólida (método C).....	35
<i>Figura 16.</i> Reducción de Volumen del filtrado.....	36
<i>Figura 17.</i> Adición de alcohol etílico 96°.....	36
<i>Figura 18.</i> Separación de componente líquido y sólido.....	37
<i>Figura 19.</i> Secado en lámina de pectina C.....	37
<i>Figura 20.</i> Curva de secado de pectina en lámina.....	38
<i>Figura 21.</i> Molienda en molino casero de la pectina C.....	38
<i>Figura 22.</i> Determinación de humedad de la pectina A y C.....	40
<i>Figura 23.</i> Procedimiento para determinar contenido de cenizas en las pectinas.....	40
<i>Figura 24.</i> Procedimiento para determinar el peso equivalente de la pectina A.....	41
<i>Figura 25.</i> Procedimiento para determinar el peso equivalente de la pectina C.....	42
<i>Figura 26.</i> Procedimiento para determinar el contenido de Metoxilo de la pectina A y C.....	43
<i>Figura 27.</i> Procedimiento para determinar Contenido de Metoxilo de la pectina B.....	44
<i>Figura 28.</i> Empresa artesanal de curtiembre.....	45
<i>Figura 29.</i> Residuo final del proceso.....	45
<i>Figura 30.</i> Filtrado con lienzo del agua residual.....	46
<i>Figura 31.</i> Aplicación de tratamientos.....	48
<i>Figura 32.</i> Densidad de la pectina B.....	48
<i>Figura 33.</i> Muestra aplicación de tratamientos.....	49
<i>Figura 34.</i> Identificación de la pectina A, B y C.....	54
<i>Figura 35.</i> Diferencia de color de la pectina A y C.....	55
<i>Figura 36.</i> Gráfica de medias para el tipo de pectina.....	64
<i>Figura 37.</i> Gráfica de medias para el pH.....	65
<i>Figura 38.</i> Gráfica de medias para la Dosis.....	65
<i>Figura 39.</i> Gelificación de la muestra con el tratamiento.....	67

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

Una de las problemáticas ambientales de mayor relevancia en Colombia corresponde al manejo inadecuado de residuos sólidos, principalmente los residuos orgánicos que son generados en mayor cantidad en los centros de abastecimiento de mercado, donde se presenta una acumulación de basura en grandes cantidades. A partir de esta problemática se evidencia una necesidad cada vez mayor de orientar esfuerzos hacia el aprovechamiento de estos residuos, especialmente hacia su reutilización para generar nuevos productos de fácil obtención que den solución a problemas particulares o que suplan alguna necesidad dentro del mercado. Un ejemplo a resaltar en el uso de estos subproductos agrícolas es la obtención de pectina, que ha brindado mayores oportunidades dentro del país tanto en el marco productivo como en el marco de investigación.

La pectina es una fibra natural de origen vegetal, presente en las paredes celulares y espacios intercelulares de todas las plantas principalmente en la pared primaria y en los tejidos mesenquimático y parenquimáticos, se encuentra concentrada en mayor proporción en frutas y vegetales, especialmente en la corteza de los cítricos como naranja, toronja, limón, limonsón y otras frutas como manzanas y peras (D'Addosio, 2005). Son muy solubles en agua y se unen con el azúcar y los ácidos de la fruta para formar gel, razón por la cual su principal utilidad se da en la industria alimentaria como aditivo coagulante de productos.

El gran potencial que se ha evidenciado sobre el uso de la pectina, ha despertado la curiosidad de diferentes investigadores, quienes además han probado utilizarla en áreas de saneamiento de aguas a través de su evaluación como material coagulante en la remoción de metales pesados. De esta forma se presenta una tecnología que aparte de dar solución de bajo costo al impacto ambiental provocado por la toxicidad de los metales pesados concentrados a grandes niveles en los cuerpos de aguas, permite reducir la problemática ambiental de la acumulación de subproductos agrícolas que no tenían ninguna utilidad, reutilizándolos y

transformándolos en productos útiles (Tejada, Villabona y Garcés, 2015).

El proceso que permite la remoción de metales pesados con materiales de origen biológico como la pectina, es conocido como la bioadsorción. Diversos autores resaltan la importancia de este proceso al involucrar materiales biológicos como alternativa económica y eficiente contra la contaminación ambiental (Pérez, 2012).

La contaminación debido al vertimiento en fuentes hídricas de residuos líquidos con presencia de sustancias tóxicas como el cromo (Cr), ha puesto en alerta a diferentes organizaciones ambientales que buscan acabar de raíz con la problemática. El uso de estas sales de cromo en el curtido representa un problema dada la cantidad de curtiembre que no se fija y que permanece en los reflujos y lodos de depuración impidiendo la utilización del material residual, principalmente de este metal (Chávez, 2010).

Este trabajo de investigación hace énfasis en la Cholupa (*Passiflora maliformis L*), fruta autóctona con denominación de origen, cultivada sólo en el norte del departamento del Huila, cuya producción es principalmente de economía campesina. El objetivo de la investigación es evaluar la capacidad de remoción de Cr presente en el agua residual de una curtiembre artesanal en Gigante (H), con la aplicación de pectina extraída de cáscaras de cholupa, que forman parte de los residuos orgánicos generados en la Central de Abastos SURABASTOS en Neiva (H). Con lo que además se pretende generar desarrollo en investigación para el marco productivo de la *Passiflora* dada su reconocimiento e importancia tanto a nivel regional como nacional.

1.1. Antecedentes

- Tejada, *et al.* (2015) afirman que el uso de biomasa no viva, se ha convertido en el principal tema de investigación para los científicos, siendo estas de fácil acceso, bajo costo y con

gran capacidad de adsorción. Mencionan también que la capacidad de remoción de iones metálicos del biosorbente va a depender de ciertos parámetros como lo son el pH, el tamaño de partícula, la temperatura, y la concentración de la biomasa.

- Chávez (2010) expresa que los biomateriales son una de las posibles formas de remover Cromo (Cr) proveniente de la industria de curtiembre, donde los procesos están basados en la natural y fuerte afinidad de sus componentes celulares por los iones metálicos. Este tipo de tecnologías es novedoso y su desarrollo puede ser particularmente competitivo en el tratamiento de efluentes industriales, ya que permiten la recuperación de los metales, la reutilización de la biomasa y el agua.

- García *et al.* (2010) indican que el gran desafío para el campo de la bioadsorción consiste en seleccionar la biomasa más prometedora para el fin buscado. Los principales objetivos de estos estudios son determinar la afinidad relativa de los metales pesados con la biomasa y la influencia de variaciones en las condiciones medioambientales. Para lograr una visión amplia de la aplicación de las biomásas de bajo valor agregado, empleada para estudios de remediación de aguas contaminadas con iones metálicos.

- Espinosa y Mera (2015) resalta las ventajas de la bioadsorción sobre la bioacumulación (realizada por materiales vivos) destacando que no es necesario realizar un cultivo ni utilizar un medio para este fin, el proceso es independiente de las restricciones fisiológicas de las células vivas, es rápido debido a que las células no vivas se comportan como resinas de intercambio iónico, es reversible y el metal se puede desorber fácilmente, se minimiza el lodo químico o biológico y los biomateriales están disponibles como residuos o subproductos.

- Garcés y Coavas (2012) encontraron que la cáscara de naranja presenta gran potencial para la remoción de Cr (VI) en agua sintética, mientras que la cáscara de naranja modificada con quitosano, presenta una capacidad de adsorción de iones Cr^{+6} . Estos dos tipos de biomasa se pueden considerar como una buena alternativa para el tratamiento de aguas residuales con contenido de iones de cromo.

- Villanueva y Tapia (2005) investigaron la adsorción de Cu (II) por biomásas tratadas de cáscaras de naranja, limón y nopal, las cuales contienen pectina en su composición. El pH óptimo en el proceso de bioadsorción del Cu (II) se encontró en el rango de 4.0 – 4.5. Las

capacidades máximas de adsorción (q máx.) de las biomásas tratadas fueron: cáscara de naranja $36.23 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$, limón $46.95 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ y nopal $44.25 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$.

- García, Yipmantin, Guzmán, Pumachagua y Maldonado (2010) indican que los grupos carboxílicos en su forma aniónica se caracterizan por tener tendencia hacia la captación de especies catiónicas como Pb^{2+} . Ellos obtuvieron pectina mediante hidrólisis ácida (pH 1.4, temperatura: 80°C tiempo: 60 minutos.) de cáscaras de naranja. Encontraron que el rango de pH que presenta la máxima capacidad de sorción es de 4.5 – 5.5.

- Cardona, Cabañas y Zepeda (2013) evaluaron la capacidad de biosorción de la cáscara de naranja para la eliminación de metales pesados y el porcentaje de remoción de dichos metales. Encontraron que para el Pb (II) con pH 5.0 tamaño de partícula 0.40 mm, biomasa 0.50 g, tiempo de contacto 2 horas, el porcentaje de remoción fue de 99.50%. El mejor porcentaje de remoción de Zn (II) fue 99.5% y lo obtuvieron en el tratamiento con pH 5.0, tamaño de partícula 0.48 mm, biomasa 0.50 g, tiempo de contacto 4 horas.

- Garzón y González (2012) encontraron para cáscaras de naranja que el pH con mayor eficiencia para la adsorción de Cr (VI) resulta ser de 3.0, además que la adsorción de Cr (VI) se ve favorecida, con el aumento en la relación de la dosis del adsorbente con la solución contaminada, durante este estudio fue de $6.0 \text{ g}\cdot\text{l}^{-1}$. Por otra parte, el porcentaje de remoción del cromo aumenta a medida que el tamaño de partícula disminuye, en este estudio el tamaño fue de 0.325 mm.

- Soto, Lozano, Barbarín, y Alcalá (2004) realizaron un estudio para identificar el mejor coagulante encargado de remover metales pesados que se encuentran en cantidades que rebasan la norma en aguas industriales, basados en los niveles de remoción de metales y en el tiempo de sedimentación del precipitado.

- Tejeda et al. (2014) estudiaron el efecto de las modificaciones a carbón activado y recubrimiento con quitosano de biomasa lignocelulósica obtenida de cáscaras de plátano y naranja, para la adsorción de Cr (VI). Los resultados mostraron una remoción de los iones de Cr (VI) de 66.6 y $93.0 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ para las cáscaras de naranja y plátano respectivamente. Las condiciones de adsorción más favorables para este proceso se dieron a un valor de pH 3.0 y un tamaño de partícula de adsorbente de 0.425 mm.

- Bejarano *et al.* (2016) determinaron la influencia del tamaño de partícula de pectina de

naranja y el tiempo de contacto en la disminución del contenido de hierro en aguas ácidas, cuya concentración inicial de Fe fue de $540.52 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$. Se obtuvo una mayor adsorción del Fe con el tamaño de partícula Tamiz N° 50 (0.300 mm) y con el tiempo de contacto en agitación 4 horas, con una reducción del 54% con respecto a la concentración inicial de Fe.

Teniendo en cuenta la revisión bibliográfica realizada, en la Tabla 1 se muestran los parámetros del proceso de adsorción de metales pesados con biomasa que presentaron la máxima capacidad de remoción en las diferentes investigaciones y que sirvió como base para determinar el diseño experimental de esta investigación.

Tabla 1

Parámetros y/o Variables Aplicados en otras Investigaciones

Parámetros	Fuente
PH	4.0 -4.5
Tamaño de la partícula	Tamiz N° 80 – Tamiz N° 60 180 μm - 250 μm 0.180 mm – 0.250 mm
	Villanueva y Tapia (2005)
PH	4.5 -5.5
Tamiz de la partícula	Tamiz N° 140 100 μm 0.1 mm
Dosis (biomaterial/solución contaminada)	0.35 $\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$
	García <i>et al.</i> (2011)
Tiempo de contacto	2 horas
PH	5.0
Tamaño de la partícula	Tamiz N° 40 – Tamiz N° 35 425 μm – 480 μm 0.425 mm – 0.480 mm
Dosis (biomaterial/solución contaminada)	0.5 $\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$
Tiempo de contacto	2- 4 horas
	Cardona <i>et al.</i> (2013)
PH	3.0
Tamaño de la partícula	Tamiz N° 45 325 μm 0.325 mm
	Garzón y

Dosis (biomaterial/solución contaminada)	6 g·l ⁻¹	González (2012)
Tiempo de contacto	2 horas	
pH	3.0	
Tamaño de la partícula	Tamiz N° 40	Tejeda <i>et al.</i> (2014)
	425 µm	
	0.425 mm	
Dosis (biomaterial/Solución contaminada)	6 g·l ⁻¹	
Tiempo de contacto	1 hora	
Tamaño de la partícula	Tamiz N° 50	
	300 µm	
	0.300 mm	
Tiempo de contacto	4 horas	
PH	1.5	
Dosis (biomaterial/Solución contaminada)	1 g·l ⁻¹	Espinosa y Mera. (2015).
Tiempo de Contacto	1 hora	

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general.

- Evaluar el uso de pectina obtenida de cáscaras de cholupa (*Passiflora maliformis*) como coagulante para la remoción de Cromo (Cr) de aguas residuales de curtiembre.

1.2.2. Objetivos específicos.

- Obtener pectina de las cáscaras de cholupa mediante tres métodos de extracción y llevar a cabo su respectiva caracterización.
- Identificar cuál es el método de extracción de pectina, dosis y el pH que facilita el proceso de remoción de Cromo (Cr).

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

Dentro del marco teórico se incluye generalidades de la Cholupa, descripción de la planta y fruto, la clasificación e importancia del fruto para el departamento, así como también se definen conceptos importantes en torno al aprovechamiento de la cáscara de la cholupa, la extracción de pectina y su uso como biomaterial para la remoción de cromo en aguas residuales de curtiembre.

2.1. Generalidades de la Cholupa

La cholupa (*Passiflora maliformis* L) ver Figura 1, es una fruta autóctona del Huila, y solo es cultivada en el norte del departamento, razón por la cual es considerada patrimonio territorial (Secretaría de Agricultura y Minería de la Gobernación del Huila, s.f).



Figura 1. Cultivo de cholupa (passiflora maliformis L.)

Fuente. Secretaría de Agricultura y Minería de la Gobernación del Huila (s.f).

También es conocida como granadilla de hueso, granadilla de piedra, calabacito de indio, juju, ceibey cimarrón o parcha cimarrona. La planta se propaga de forma sexual e inicia su producción a los 7 meses, su ciclo de vida es de 3 a 4 años, se establecen entre 600 y 900 plantas·ha⁻¹ y tiene rendimientos de 15 a 25 toneladas según el manejo agronómico. El cultivo se presenta en altitudes entre los 0 y 1200 msnm, con temperaturas que oscilan entre 20 a 30°C, en zonas con precipitaciones anuales de 800 a 1500 mm, y 1500 horas de luz/año. Los suelos aptos son de textura franco arcillo arenosa con buen drenaje y pH entre 5.5 a 7.0 (Rodríguez, 2010).

2.1.1. Descripción de la planta - fruto y clasificación botánica.

La Secretaría de Agricultura y Minería de la Gobernación del Huila (s.f) describe a la planta y fruto de la cholupa así:

- **Planta:** Bejuco o arbusto trepador de tallo glabro y voluble, ramificado cuando adquiere su mayor edad, se aferra mediante zarcillos caulínifolios, axilares, resultante de hojas profundamente modificadas. Sus raíces son fasciculadas, sus hojas son alternas, pecioladas, sencillas lobuladas. Se esparcen a lo largo del tallo y ramas en forma alterna. La flor es color violeta, hermafrodita y con el receptáculo considerablemente desarrollado (Figura 2).



Figura 2. Flor de la planta de la cholupa (*passiflora maliformis* L.)

Fuente. Secretaría de agricultura y minería de la Gobernación del Huila (s.f).

- **Fruto:** El fruto es de forma redonda, ovoide, con cáscara cariáceas, de 5 a 9 cm de diámetro, y su peso oscila en 30 a 100 g de color anaranjado, amarillo y matizado, el cual es dulce y comestible (Figura 3).



Figura 3. Cholupa (*passiflora maliformis* L.)

Fuente. Secretaría de agricultura y minería de la Gobernación del Huila (s.f).

La Clasificación botánica de la cholupa se presenta en la Tabla 2, actualmente no existen variedades de cholupa definidas comercialmente por la poca investigación realizada sobre este cultivo.

Tabla 2 *Clasificación Botánica de la Cholupa.*

Nombre científico	Passiflora maliformis L.
Reino	Vegetal
División	Angiospermae
Subdivisión	Dicotyledonae
Clase	Arquiclamiidae
Orden	Parietales
Familia	Passifloraceae
Género	Passiflora
Especie	Maliformis

Fuente: Secretaría de agricultura y minería de la Gobernación del Huila (s.f)

2.1.2. Usos e importancia de la cholupa dentro del mercado.

La Cholupa es una fruta exótica y autóctona, el departamento del Huila es el único productor nacional con un área de 96.5 hectáreas. La planta se encuentra en forma silvestre, pero por los cuidados y la vocación agrícola de los fruticultores huilenses se llevó a cultivo comercial desde hace aproximadamente 33 años (Tovar, 2009). Carvajal *et al.* (2014) desarrollaron un estudio etnobotánico que permitió recoger 17 usos locales de la cholupa de los cuales la mayoría son medicinales, seguidos de la fruta como alimento. Las partes usadas son las semillas, las hojas, el bejuco, la flor y el fruto; no se registra aprovechamiento común de las cáscaras.

La oferta del producto se efectúa en un 95% en el territorio del departamento del Huila, ante otras regiones de Colombia y en el exterior la cholupa es demandada por el “mercado nostalgia” aquel mercado que encierra a aquellos que siguen aferrados al hábito de consumir los productos de su origen aun estando lejos de él (Secretaría de Agricultura y Minería de la Gobernación del Huila, s.f).

2.2. La Pectina

La pectina es una fibra o sustancia natural de origen vegetal, un grupo complejo de heteropolisacáridos estructurales compuestos principalmente por unidades de ácido galacturónico que están parcialmente esterificados con metanol. La pectina está asociada a otros componentes como la celulosa, hemicelulosa y la lignina, y son responsables de la firmeza de algunos productos (Devia, 2003; D'Addosio, 2005 y Muñoz, 2011).

La pectina está formada por diecisiete monosacáridos diferentes, organizados en distintos polisacáridos, a partir de más de veinte diferentes enlaces, formando una red que los une, agrupados en diferentes tipos de cadena, constituido por: ácido urónico, hexosas, pentosas y metilpentosas. Compuesto de una cadena linear de moléculas de ácido D-galacturónico, las que unidas constituyen el ácido poligalacturónico (Suárez y Orozco, 2014).

2.2.1. Clasificación de las sustancias pécticas.

Dependiendo de cuántos grupos carboxílicos de la cadena están esterificados las sustancias pécticas se clasifican en:

Tabla 3 *Clasificación de las sustancias pécticas.*

PROTO- PECTINAS	Si todos los carboxilos están esterificados. Éstas son insolubles en agua y se hallan en mayor cantidad en los tejidos de los frutos no maduros o verdes.
ÁCIDOS PECTÍNICO	Si solo una parte pero mayoritaria de los carboxilos está esterificados.
PECTINAS	Son los ácidos pectínicos, solubles en agua caliente, con un contenido medio de éster metílico. La principal característica es su capacidad de formar geles en presencia de suficientes sólidos solubles, ácidos o iones polivalentes.

Estos compuestos son capaces de formar geles si las condiciones de sólidos solubles y pH son adecuadas.

ÁCIDOS PÉCTICOS

Estos compuestos no poseen grupos carboxílicos esterificados. Las sales de estos se denominan pectatos y reaccionan fácilmente con los iones calcio de las células para producir compuestos insolubles en los jugos de frutas, dando un precipitado visible comúnmente en la separación de fases o abanderamiento en los néctares.

Fuente: Modificado de Cabarcas, Guerra y Henao (2012).

Por definición las pectinas son ácidos pectínicos con diferentes grados de esterificación y neutralización, que pueden contener de 200 a 1000 unidades de ácido galacturónico (Muñoz, 2011)

2.2.2. Estructura y composición.

La columna vertebral de la pectina está compuesta por unidades enlazadas (α 1-4) de ácido D-galacturónico interrumpidos por enlaces simples (α 1-2) de L-ramnosa (Muñoz, 2011; Cabarcas *et al.*, 2012). Como ya se mencionó, los grupos carboxilos de las unidades del ácido galacturónico están parcialmente esterificados por metanol, esto define el contenido de metoxilo o grado de metilación, cuyo valor máximo de una pectina es del 14%, que se toma como 100% de metilación. El contenido de metoxilo en las pectinas comerciales se encuentra entre el 8 y el 11% (Cabarcas *et al.*, 2012). Dependiendo del contenido de metoxilo se distinguen dos tipos de pectinas (Muñoz, 2011):

- **Pectinas de Alto Metoxilo (PAM):** Son aquellas donde más del 50% de los grupos carboxilo del ácido galacturónico se encuentran esterificados con metanol.

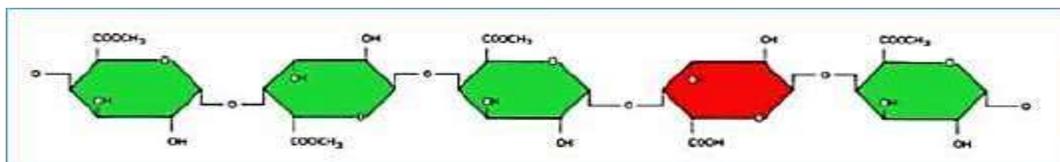


Figura 4. Pectina de Alto grado Metoxilo (PAM) con 80% Grado de esterificación (GE).

Fuente: (Muñoz, 2011)

Cada anillo de la cadena posee un grupo carboxilo (-COOH). Este grupo puede estar esterificado con metanol produciendo grupos éster metílicos, (-COOCH₃) o neutralizado por una base. En la Figura 4 la estructura tiene 4 anillos de ácido galacturónico metil esterificados (color verde) por cada 1 anillo con grupo carboxilo que no lo está (color rojo); correspondiendo así a un grado de esterificación (GE) 80%, es decir la pectina es de alto grado metoxilo ya que más del 50% de grupo carboxilo (-COOH) está esterificado con metanol.

Según Vásquez (2008) citado por Muñoz (2011), estas pectinas pueden subdividirse a su vez según el tiempo de gelificación en pectinas de acción rápida (*Rapidset*) o lenta (*Slowset*), la primera con un tiempo de gelificación menor a 5 minutos y un grado de esterificación (GE) entre 68 y 75% y la segunda con un tiempo de gelificación mayor a 5 minutos y grado de esterificación (GE) entre 60 y 68%. Son capaces de gelificar en condiciones de pH entre 2.8 y 3.5 y un contenido de sólidos solubles entre 60 y 70 °Brix.

- **Pectinas de Bajo Metoxilo (PBM):** Son aquellas donde menos del 50% de los grupos carboxilo están esterificadas con metanol.

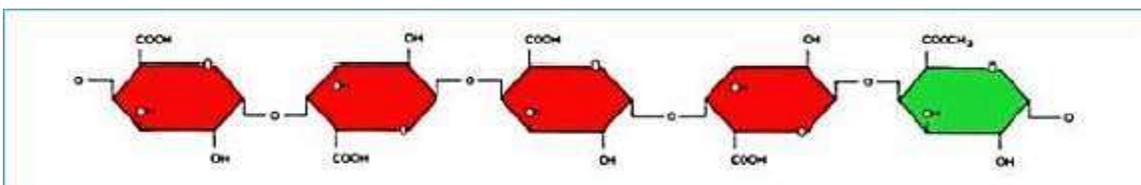


Figura 5. Pectina de Bajo grado Metoxilo (PBM) con 20% Grado de esterificación (GE).
Fuente: (Muñoz, 2011)

En el caso de la Figura 5 la estructura tiene 1 anillo de ácido galacturónico metil esterificado (-COOCH₃), por cada 4 que no lo están; correspondiendo así a un grado de esterificación (GE) 20%, por lo que la pectina es de bajo grado metoxilo, donde menos del 50% de grupo carboxilo (-COOH) está esterificado con metanol.

El grado de esterificación (GE) está definido por la relación de residuos de ácido galacturónico metil esterificados con el total de unidades de ácido galacturónico presentes en la muestra de pectina (Muñoz, 2011). Dentro de las propiedades fisicoquímicas de la pectina más

importantes se encuentran: tiempo de gelificación, contenido de metoxilo, contenido de ácido galacturónico, peso molecular, grado de esterificación, poder de gelificación y viscosidad (D'Addosio *et al.*, 2005); (Cabarcas *et al.*, 2012). La calidad de pectina útil que presentan los frutos dependen principalmente de la especie y del tipo de fruto, estado de maduración, parte del fruto que se utilice condiciones de manejo y del proceso de extracción (Muñoz, 2011).

2.2.3. Aplicaciones y usos.

La principal característica de la pectina es formar geles en presencia de suficientes sólidos solubles, ácidos e iones divalentes (Maldonado *et al.*, 2010), razón por la cual es utilizada en la industria alimentaria combinada con los azúcares como un agente espesante, por ejemplo en la fabricación de mermeladas y confituras. Es usada en la industria farmacéutica, como coagulante sanguíneo, antídoto en intoxicaciones con metales pesados, preparación de medios de cultivos, en fabricación de cosméticos entre otros (Rodríguez y Román, 2004). También ha sido utilizada como biomaterial para el saneamiento de aguas residuales a través de la remoción de metales pesados.

2.3. Aguas Residuales Tipo Curtiembre

Las aguas residuales son aquellas aguas cuya calidad se ha visto afectada negativamente por diferentes procesos dirigidos por el hombre. Dentro de su clasificación se encuentran las que han sido generadas por las industrias cuyos procesamientos son realizados en fábricas y establecimientos industriales con composición variable de acuerdo a la actividad industrial.

La industria del curtido de pieles es una actividad estrechamente ligada a dos sectores productivos del país, la industria del calzado y el faenamiento de animales, especialmente bovinos (Bustos, 2012). El proceso de curtición consiste en convertir la piel de los animales (bovinos, ovinos y porcinos) utilizando técnicas en su procesamiento que generan contaminación residual dada a que solo una parte es transformada en cuero y el resto es eliminado bajo forma de desecho sólido o como efluente en solución. (Chávez, 2010). La principal fuente de extracción

de materia prima para la industria curtiembre se localiza en el ganado bovino, del cual se obtiene la piel y el cuero. El procedimiento adoptado sobre estas pieles modifica su aspecto químico y físico con el uso de sustancias como el ácido fórmico y el cromo para transformarlas en los productos comercializados (Artuz *et al.*, 2011). A pesar de que existe la normativa para el control de vertimientos producto de esta industria, hay muchas personas en el anonimato dedicadas a esta actividad que realizan los procesos de forma artesanal sin que haya un control o vigilancia por parte de organismos de protección ambiental.

2.3.1. Composición.

El curtido de pieles genera vertimientos y residuos sólidos como pelo, pedazos de piel, sangre, estiércol, sal común, sales de cromo y sulfuros entre otros, que se distinguen por su elevada carga orgánica y presencia de agentes químicos que pueden tener efectos tóxicos como es el caso del sulfuro y el cromo. Las variaciones en cuanto al volumen de los residuos y a la concentración de la carga contaminante se presentan de acuerdo a la materia prima procesada, al proceso, producto final y a la tecnología empleada. (Pinedo, 2012)

2.3.2. Impacto ambiental.

Según el Sistema Nacional de Información Ambiental (2013) a raíz del mal manejo que se le da a estas aguas contaminadas, se ha evidenciado un gran deterioro sobre nuestros recursos naturales, la disposición de los residuos líquidos y sólidos, sobre los cuerpos de agua y sobre los suelos han provocado la disminución de calidad de estos, además se presentan emisiones gaseosas que alteran de igual manera la calidad del aire, lo que en conjunto causa efectos negativos y en su mayoría daños irreversibles al medio ambiente (Figura 6).



Figura 6. Efectos de la contaminación de curtiembres sobre el medio ambiente.

- **Efectos sobre cuerpos de aguas:** Las aguas residuales de curtiembre suelen ser vertidas a los cursos de aguas corrientes o lagos, lo que ha provocado un creciente deterioro de las mismas. Estas descargas directas ocasionan efectos negativos en la vida acuática con la muerte de peces por disminución del oxígeno disuelto y en los usos posteriores de estas, que convierten el agua en no apta para el consumo.
- **Efectos sobre el alcantarillado:** Las aguas residuales de curtiembres, lanzadas a una red de alcantarillado, provocan incrustaciones de carbonato de calcio y gran deposición de sólidos en las tuberías y en presencia de sulfuros y sulfatos también puede acelerar el deterioro de materiales de concreto o cemento.
- **Efectos sobre plantas de tratamiento de aguas residuales:** Al ser vertida a una planta de tratamiento de aguas residuales, la presencia de sustancias tóxicas como el cromo, puede interferir con el proceso biológico de la planta inhibiendo a los microorganismos responsables del proceso. Estos vertidos industriales provocan en las PTAR además un aumento en el consumo energético debido a la aireación y una sobrecarga de materia orgánica.
- **Efectos sobre el suelo:** El suelo tiene cierta capacidad para neutralizar la carga contaminante recibida, sin embargo, estos niveles se deben controlar para evitar la disminución de la producción agrícola, los daños en la estructura del suelo y la aceleración de la erosión. Las plantas usualmente absorben sólo Cromo (III). Esta clase de Cromo probablemente es esencial,

pero se presentan efectos negativos cuando las concentraciones exceden cierto valor.

- **Efectos sobre la calidad del aire:** Materiales particulados y sulfuro de hidrógeno son las dos descargas gaseosas potenciales significativas. Los malos olores como consecuencia de inadecuadas o inexistentes prácticas de limpieza, también afectan la calidad del aire.

Los residuos industriales líquidos (RILES) de curtiembre, se caracterizan por presentar alta contaminación orgánica y tóxica asociada a sales, sulfuro y cromo, provenientes del proceso (Umaña, 2004). Lo cual se presenta como un problema ambiental y de permanencia para las empresas que no cumplen con las exigencias de descarga de los residuos.

2.4. Cromo (Cr)

Es un metal pesado y por tanto no biodegradable que pinta las aguas un color verde oscuro característico. En medio alcalino precipita en forma de óxido y contamina los lodos en las plantas de tratamiento de efluentes, imposibilitando su operación (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo territorial, 2013). La Resolución 631 del 17 de marzo de 2015, en el artículo 13, establece que el valor máximo permisible para el vertimiento de carga de cromo (Cr) es $1.50 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015). El cromo produce las siguientes afectaciones: sobre la piel causan dermatitis, sensibilización de la piel, es irritante de la piel y mucosas, tos, bronquitis crónica, ulceraciones del tabique nasal y piel, dolores respiratorios y de cabeza, hemorragia nasal, dermatitis, etc (Ortiz, 2013).

2.4.1. Tratamientos para su remoción.

La contaminación por metales pesados y el impacto negativo sobre la salud pública, ha motivado al hombre a buscar alternativas que permitan dar solución a esta problemática. Dentro de los métodos utilizados tradicionalmente se encuentran la ósmosis inversa, electrodiálisis, ultrafiltración, intercambio iónico y precipitación química; el problema es que aquellos métodos son de muy alto costo, lo que ha provocado la búsqueda de alternativas tecnológicas, que además

de permitir eliminar de forma natural estos metales, permita aprovechar los productos generados en el ecosistema, ofreciendo además la posibilidad de recuperar los recursos presentes en el mismo contribuyendo a la sostenibilidad del sistema (Quiñones, Tejada y Ruiz, 2014).

2.4.1.1. Uso de biomateriales adsorbentes.

El tratamiento de estos efluentes contaminados mediante el uso de bioadsorbentes extraídos de biomasa residual ha sido estudiado durante los últimos años como alternativa económica y eficiente. La adsorción, involucra los conceptos de biomateriales y adsorción. La adsorción es un proceso que transfiere ciertos componentes de una fase fluida, líquida o gaseosa hacia un sustrato sólido, quedando física o químicamente enlazados a la superficie del adsorbente (Espinosa y Mera, 2015). Los biomateriales son de origen biológico y representan el material que absorbe dicho sustrato, mientras que, la sustancia adsorbida es el adsorbato.

La bioadsorción se utiliza para remover contaminantes en solución, este proceso capta los iones metálicos debido a la propiedad que tienen ciertos tipos de biomasa inactiva o muerta para ligar estos contaminantes por diferentes mecanismos. Por la afinidad del adsorbente (fase sólida) hacia las especies del sorbato (fase líquida), este último es atraído hacia el sólido y enlazado, hasta que se establece un equilibrio entre el sorbato disuelto y el sorbato enlazado al adsorbente (Martín-Lara, 2008). Los principales factores que influyen en la adsorción de los metales son: pH, grado de agitación, cantidad de adsorbente, concentración inicial de cromo, temperatura, tamaño de partícula y naturaleza del adsorbente (Espinosa y Mera, 2015).

CAPÍTULO 3

METODOLOGÍA

A continuación se describen los procedimientos para la extracción, caracterización y aplicación de la pectina obtenida de cáscara de cholupa en la remoción de Cr de agua residual de curtiembre. La extracción de pectina se llevó a cabo en el laboratorio de Procesos Agroindustriales; la caracterización, aplicación del tratamiento de agua y determinación de cromo (Cr) se realizó en el laboratorio de Suelos, ambos pertenecientes a la facultad de ingeniería de la universidad Surcolombiana - Sede Neiva. La metodología se desarrolló en seis etapas: Revisión bibliográfica, recolección y manejo de la materia prima, obtención de pectina, caracterización, aplicación del tratamiento al agua residual de curtiembre y estudio estadístico.

3.1. Revisión Bibliográfica

Se realizó la búsqueda de artículos científicos relacionados con la temática del proyecto en diferentes bases de datos (Science Direct, Google Académico, Refseek, y otros) y tesis publicadas en bibliotecas virtuales de diversas universidades de Colombia y otros países.

3.2. Materia Prima

3.2.1. Recolección.

Las cáscaras de cholupa se recolectaron en la Central de Abastos SURABASTOS de Neiva como residuo generado de la actividad de despulpado.

Luego de la recolección, se realizó operaciones previas de acondicionamiento del subproducto para trabajar con materia prima limpia, libre de partículas extrañas que pudieran afectar el producto final.



Figura 7. Materia prima recolectada en Surabastos de Neiva.

3.2.2. Selección y lavado de materia prima.

De las cáscaras recolectadas se seleccionó las que presentaron mejores condiciones en cuanto apariencia (forma, tamaño y color) y sanidad. Para dejar el material seleccionado libre de partículas extrañas, se sometió a lavado por inmersión en agua a temperatura ambiente.



Figura 8. Selección de la materia prima.

3.2.3. Acondicionamiento de la materia prima.

A la cáscara se le retiró completamente la pulpa de modo que el mesocarpio quedo libre de residuos, luego fueron cortadas manualmente en trozos de $\pm 2\text{cm} \times 2\text{cm}$, se empacaron en bolsas de polietileno con cierre hermético y se almacenaron a 18°C .

3.3. Obtención de Pectina

Para la obtención de pectina se aplicaron tres métodos de extracción denominados A, B y C. Los procedimientos fueron adoptados de diferentes fuentes como se muestra a continuación:

3.3.1. Extracción de pectina sólida (método A).

Se tomó como referencia el procedimiento aplicado por Cerquera y Castro (2016), realizando algunas adaptaciones. El proceso general se describe en la Figura 9.

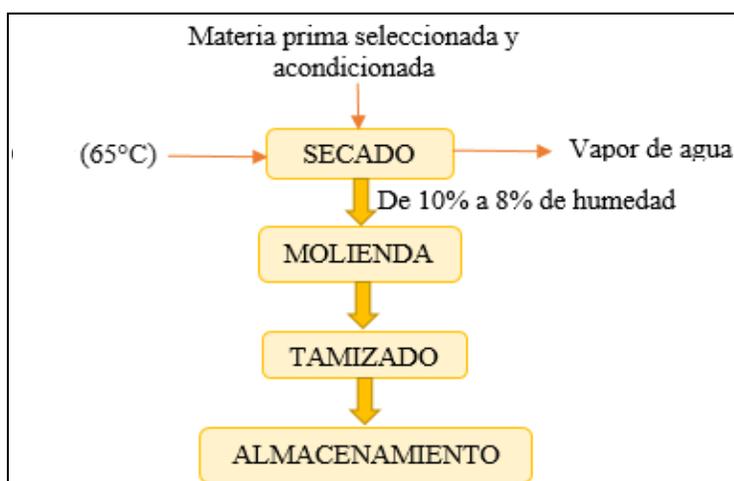


Figura 9. Extracción de pectina sólida (método A).

Antes de iniciar el proceso de secado se determinó el contenido de humedad en base húmeda inicial de la cáscara aplicando el método gravimétrico indirecto por desecación en estufa indicado por la Association of Official Analytical Chemists [AOAC] (1990) que resultó del 87%.

- **Secado:** Para secar la materia prima se utilizó un secador tipo silo rectangular marca INGESEC modelo LAB 40 a $65\pm 1^{\circ}\text{C}$ durante un tiempo de 10 horas hasta llegar a un contenido de humedad de $\pm 10\%$, el cual contribuye a que la pectina tenga mayor estabilidad, tiempo de vida útil y menos posibilidades de permitir el crecimiento de microorganismos. Para definir el tiempo de secado, se puso muestra y contramuestra testigo a la que se le llevó el control de

pérdida de humedad en el tiempo (Ver Apéndice A) como se muestra en la Figura 10.

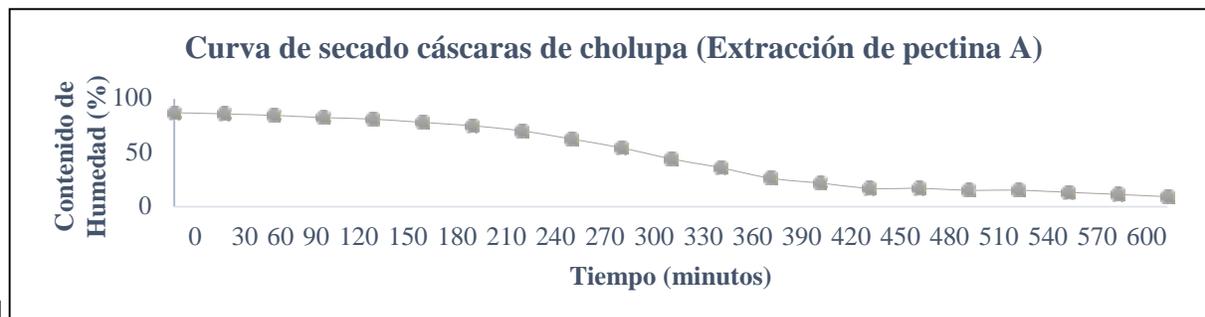


Figura 10. Curva de secado de cáscara de Cholupa.

- **Molienda:** Las cáscaras secas se molieron en molino casero, se trituraron en mortero y el residual se pulverizó en molino de discos.



Figura 11. Trituración de pectina en mortero A.



Figura 12. Molienda de pectina A.

- **Tamizado:** Se escogió trabajar con el tamiz N° 50 (0.300 mm), se utilizó una tamizadora de criba marca ENDECOSTTS durante 30 minutos a 60 rpm. El material que no pasó el tamiz se volvió a triturar y tamizar, hasta que no quedó sobrante.



Figura 13. Tamizado de pectina A.

- **Almacenamiento:** El producto final se empacó en bolsa de polietileno con cierre hermético y se almacenó a temperatura ambiente ($\pm 28^{\circ}\text{C}$) en nevera de icopor para evitar su contaminación.

3.3.2. Extracción de pectina líquida (método B).

Se realizó la extracción de pectina líquida o extracto de pectina, para ello se adoptó el procedimiento desarrollado por Rivadeneira y Cáceres (2009), así:

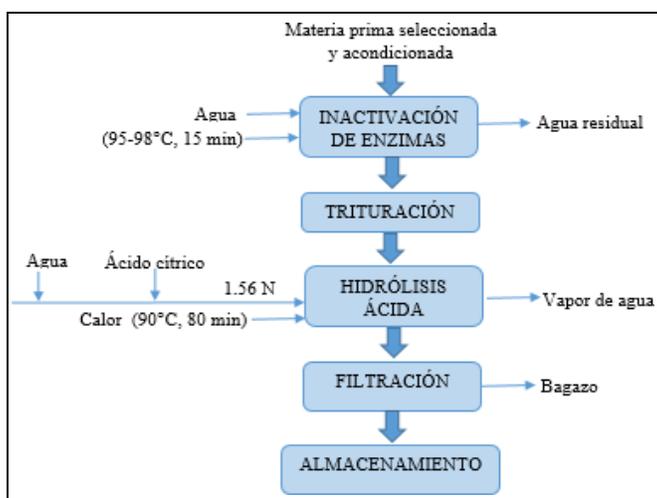


Figura 14. Extracción de pectina líquida (método B).

- **Inactivación de enzimas:** En una marmita se sometió a calor ($95\text{-}98^{\circ}\text{C}$) la materia prima con relación agua: cáscara en peso de 3:1 durante 15 minutos. Se retiró las cáscaras y se dejó escurrir por 5 minutos.
- **Trituración:** Con ayuda del molino se trituraron las cáscaras obtenidas de la inactivación de enzimas.
- **Hidrólisis ácida:** Se preparó agua acidulada agregando ácido cítrico 1.56 N hasta un pH de 3.0. Se manejó una relación 3:1 en peso de la mezcla de agua acidulada y cáscaras trituradas.

Luego, se calentó por 80 minutos a 90°C con homogeneización constante en la marmita.

- **Filtración:** La solución obtenida se filtró con lienzo dejando el bagazo lo más seco posible, el filtrado es el extracto péctico denominado pectina líquida.
- **Almacenamiento:** El producto final se empacó en un recipiente de vidrio con cierre hermético previamente esterilizado y se almacenó en refrigeración a 18°C.

3.3.3. Extracción de pectina sólida (método C).

Se tomó como base el procedimiento aplicado por D'Addosio *et al.* (2005). Se realizó una adaptación en el proceso de concentración. El proceso general se describe en la Figura 15.

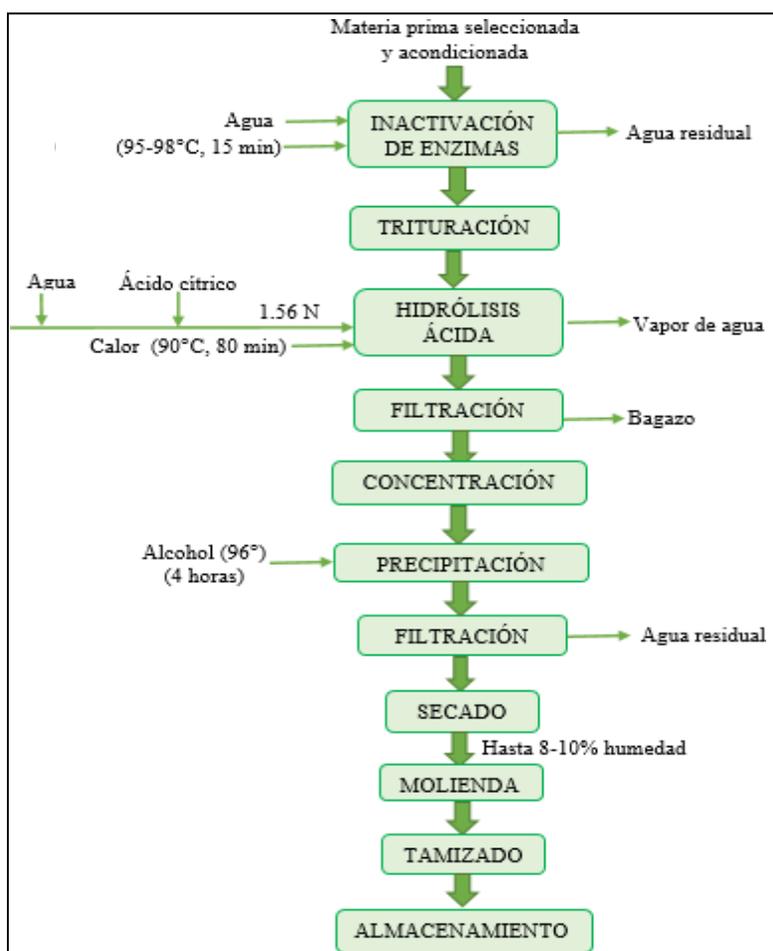


Figura 15. Extracción de pectina sólida (método C).

Para este método de extracción, se desarrolló el procedimiento ya explicado en cuanto a inactivación de enzimas, trituración, hidrólisis ácida y filtración. Se continúa así:

- **Concentración:** Tomando como referencia a Cerón y Cardona (2011), se redujo el volumen en 1/3, la temperatura no superó los 40 °C para no influir en la degradación térmica de la pectina.



Figura 16. Reducción de Volumen del filtrado

- **Precipitación:** A la solución concentrada se le agregó alcohol etílico 96° con relación en volumen de 1:1, se agitó suavemente y se dejó reposar durante 4 horas.



Figura 17. Adición de alcohol etílico 96°.

- **Filtración:** Se filtró con lienzo para retirar el componente líquido (agua y alcohol) de la pectina coagulada y se exprimió para dejarla lo más seca posible.



Figura 18. Separación de componente líquido y sólido.

- **Secado:** La pectina coagulada se secó en lámina de 1 cm de espesor a 65°C en una estufa de secado convencional, hasta que alcanzó un contenido de humedad de 8 a 10 %.



Figura 19. Secado en lámina de pectina C.

Para asegurar que se llegará a este contenido de humedad, preliminar al secado se determinó el contenido de humedad en base húmeda inicial aplicando el método gravimétrico indirecto por desecación en estufa indicado por AOAC (1990) que resultó 93% y para definir el tiempo de secado, se puso muestra y contramuestra testigo a la que se le llevó el control de pérdida de humedad en el tiempo (Ve Apéndice A) como se muestra en la Figura 20.

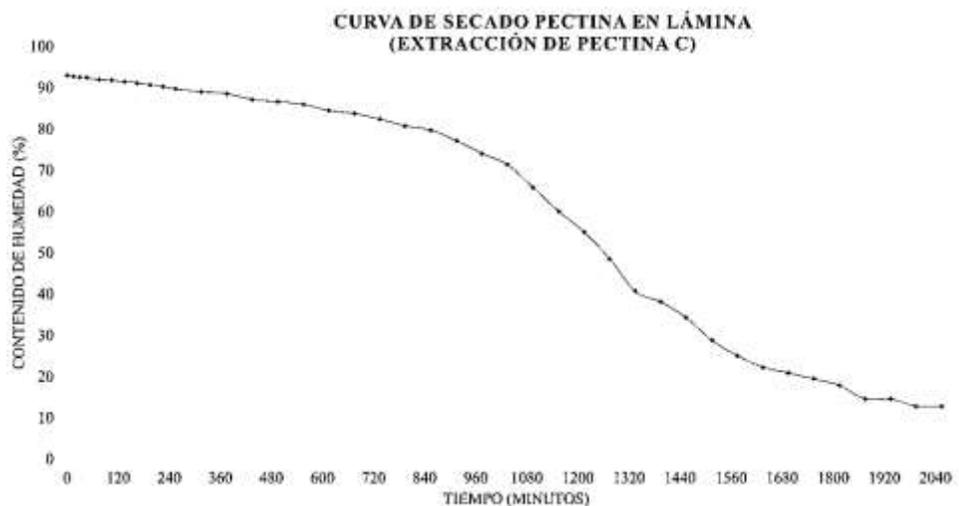


Figura 20. Curva de secado de pectina en lámina.

El proceso de secado de la pectina coagulada tomó un tiempo de 35 horas y 15 minutos.

- **Molienda:** La pectina seca se molió manualmente en molino casero y se trituró en mortero.



Figura 21. Molienda de la pectina C.

- **Tamizado:** Se trabajó con el tamiz N° 50 (0.300 mm), se utilizó tamizadora de criba marca ENDECOSTTS durante 30 minutos a 60 rpm. La pectina que no pasó el tamiz se volvió a triturar y tamizar, hasta que no quedó sobrante.
- **Almacenamiento:** El producto final se empacó en bolsa de polietileno con cierre hermético y se almacenó a temperatura ambiente ($\pm 28^{\circ}\text{C}$) en nevera de icopor.

3.4. Caracterización de la Pectina

3.4.1. Identificación experimental.

Se procedió a realizar una prueba de identificación que indique que la pectina cumple con los conceptos teóricos del comportamiento regular de esta sustancia. Para identificación de pectina sólida extraída con el método A y C, se realizó dos procedimientos aplicados por Rodríguez y Román (2004).

A una muestra de 1.0 g de pectina se le adicionó 10 ml de agua, 10 ml de alcohol hasta que se formó un precipitado gelatinoso traslúcido.

A 50 ml de una solución 1:100 de la muestra de pectina y agua, se agregó 1 ml de Hidróxido de Sodio 2 N y se dejó reposar por 15 minutos, se formó un gel.

En cuanto al extracto de pectina obtenida por el método B, se realizó una prueba de precipitación con alcohol adicionando 10 ml de alcohol etílico 96° a 10 ml de pectina líquida, dando lugar a la precipitación de la pectina en presencia de alcohol (Rivadeneira y Cáceres, 2009).

3.4.2. Determinación de contenido de humedad.

Se determinó contenido de humedad a la pectina sólida que corresponde a la pectina A y C, el procedimiento aplicado es el siguiente: se secó 1.0 gramo de pectina (P_i) a 60 °C durante 24 horas, se enfrió en un desecador, se pesó (P_f) y se determinó el contenido de humedad con la Ecuación 1 que relaciona la pérdida de peso con la sustancia húmeda, la humedad se expresa en términos de p/p en base húmeda (Cabarcas *et al.*, 2012). El procedimiento se realizó por duplicado.

$$CHbh (\%) = \frac{P_i - P_f}{P_f} \times 100$$

Ecuación 1



Figura 22. Determinación de humedad de la pectina A y C.

3.4.3. Determinación de contenido de cenizas.

Se determinó contenido de cenizas a la pectina sólida que corresponde a la pectina A y C; así: se pesó 1.0 g de pectina (P_i) en un crisol de porcelana, se calentó suavemente hasta fin de desprendimiento de humos. El crisol se colocó en la mufla a 600°C durante 4 horas. Luego se retiró el crisol de la mufla, se dejó enfriar ligeramente y se colocó en un desecador para terminar ahí el enfriamiento, se pesó (P_f). Se utilizó la Ecuación 2 y se expresa el contenido de cenizas totales en términos de p/p en base húmeda.

$$\text{Contenido de Cenizas (\%)} = \frac{P_f}{P_i} \times 100 \quad \text{Ecuación 2}$$

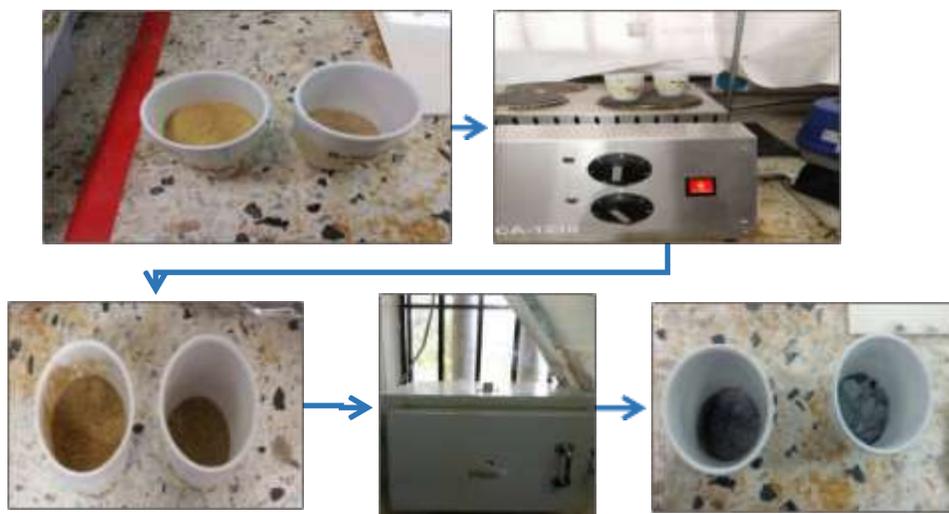


Figura 23. Procedimiento para determinar contenido de cenizas en las pectinas.

3.4.4. Determinación de peso equivalente y acidez libre.

El peso equivalente, acidez libre y contenido metoxilo para la pectina sólida A y C fue determinado mediante el método establecido por McCready y Owens (1952). El procedimiento para peso equivalente es el siguiente: Se pesó 0.5 g de la sustancia péctica en un frasco, se introdujo en un beaker de 250 ml y se humedeció con 5.0 ml de etanol, se añadió 1.0 g de Cloruro de Sodio (NaCl), y finalmente se adiciono 100 ml de agua destilada sin dióxido de carbono. Se tituló lentamente para evitar una posible desesterificación usando Hidróxido de Sodio (NaOH) 0.1 N hasta un pH de 7.5. Se guardó la solución neutralizada para la determinación de metoxilo. Para determinar el peso equivalente en se utilizó la Ecuación 3 y para acidez libre la Ecuación 4.

$$\text{Peso equivalente (mg}\cdot\text{meq}^{-1}) = \frac{1000 \times (\text{gr})}{N \times V \text{ NaOH (ml)}} \quad \text{Ecuación 3}$$

$$\text{Ácidoz libre (meq carboxilos libres}\cdot\text{g}^{-1}) = \frac{N \times V \text{ NaOH (ml)}}{P(\text{gr})} \quad \text{Ecuación 4}$$

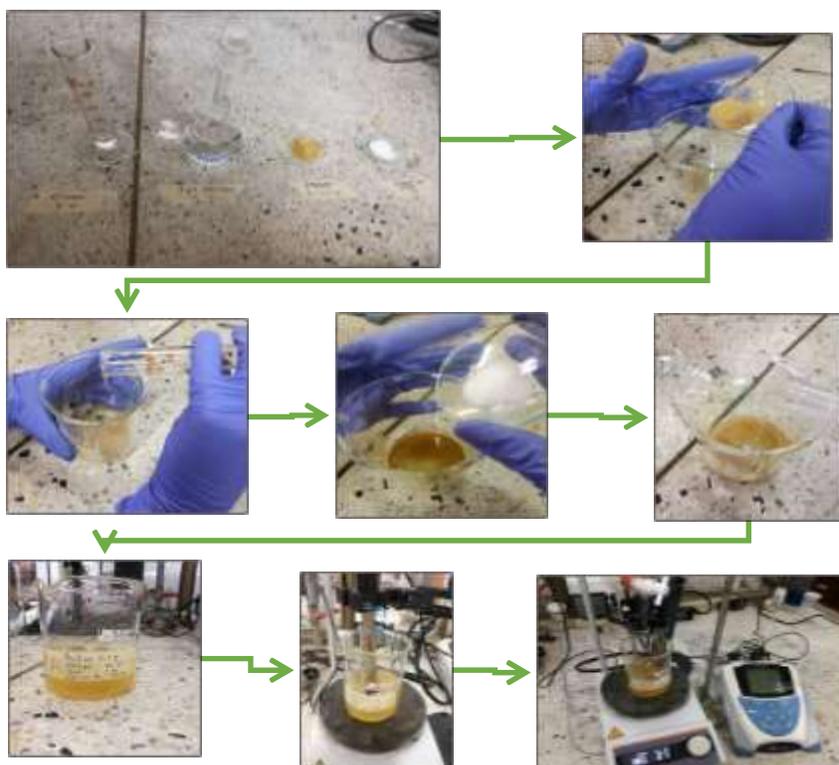


Figura 24. Procedimiento para determinar el peso equivalente de la pectina A.

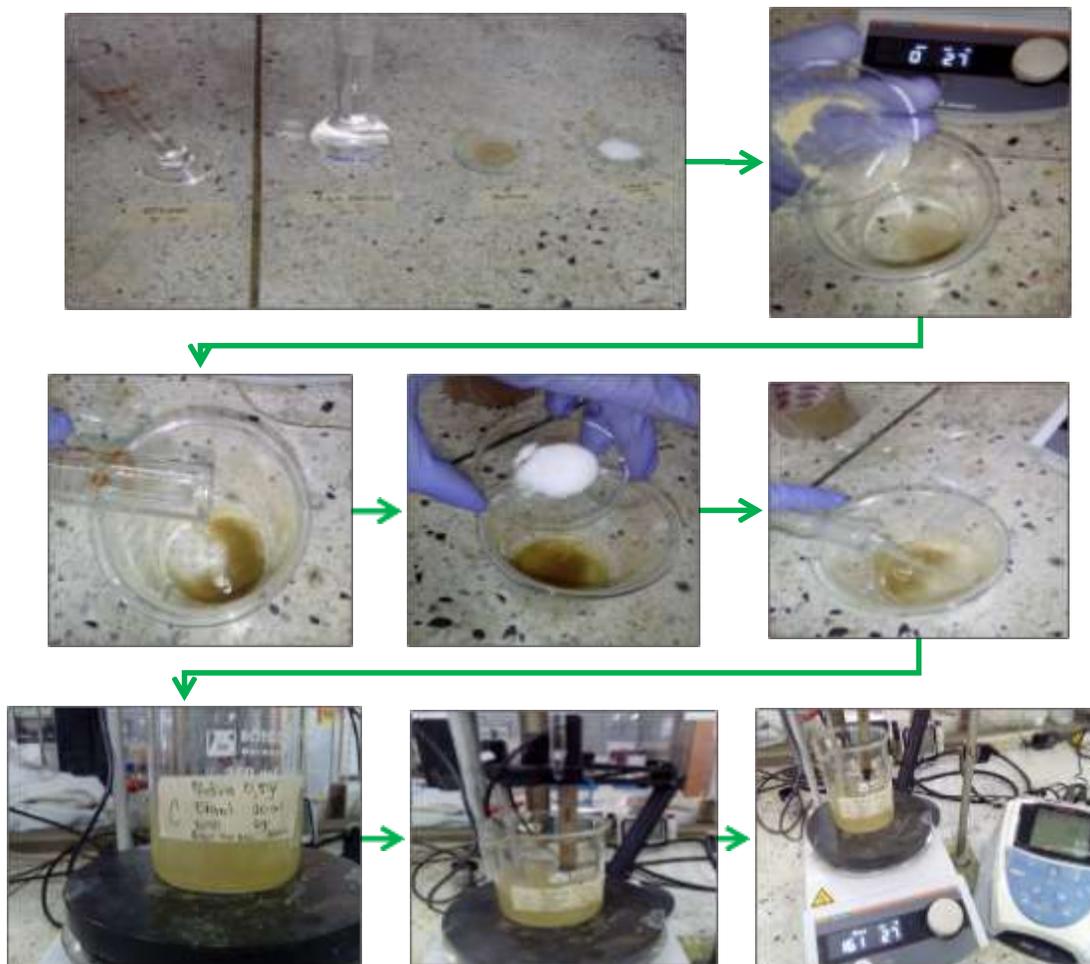


Figura 25. Procedimiento para determinar el peso equivalente de la pectina C.

3.4.5. Determinación de contenido de metoxilo.

Dando continuación al procedimiento para determinar contenido metoxilo de la pectina sólida A y C, se siguió así: a la solución neutra titulada para el peso equivalente se le añadió 25 ml de Hidróxido de Sodio (NaOH) 0.25 N, se agitó y dejó en reposo por 30 minutos a temperatura ambiente en un frasco taponado. Se adicionó 25 ml de Ácido Clorhídrico (HCl) 0.25 N y se tituló con Hidróxido de Sodio (NaOH) 0.1N hasta pH 7.5 (McCready y Owens, 1952). El contenido de metoxilo expresado en porcentaje se da mediante la Ecuación 5.

$$\text{Contenido de Metoxilo (\%)} = \frac{N \times V \text{ NaOH (ml)} \times 3,1}{P(\text{gr})}$$

Ecuación 5

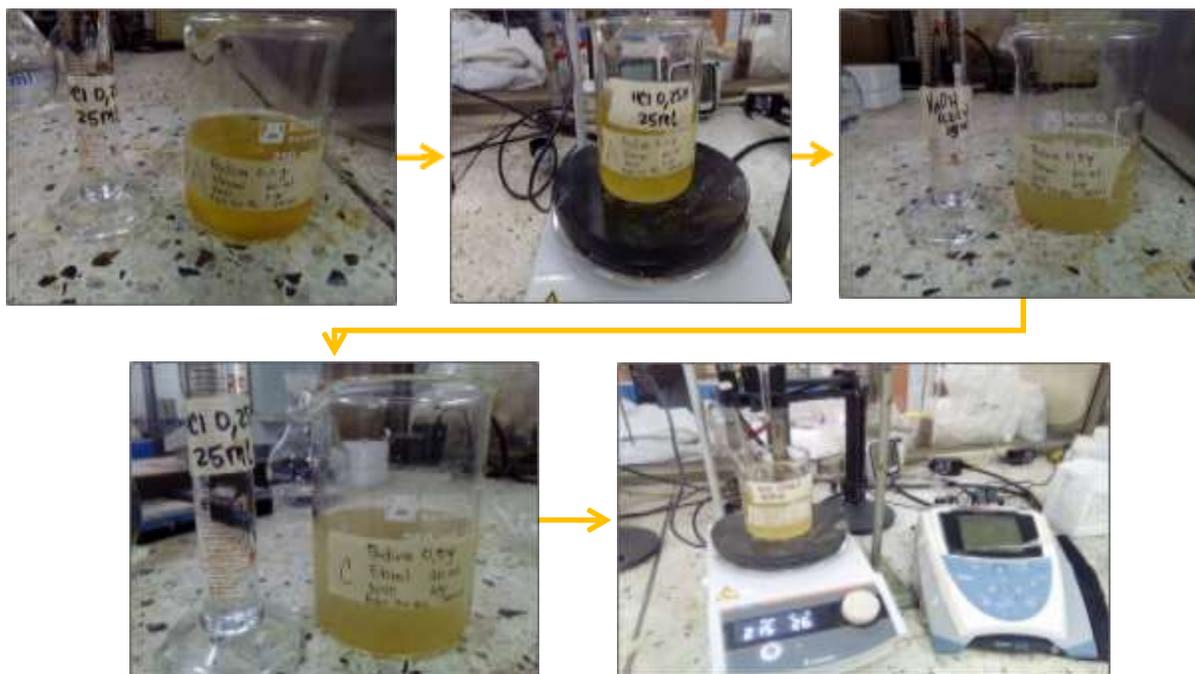


Figura 26. Procedimiento para determinar el contenido de Metoxilo de la pectina A y C.

Para la determinación de contenido metoxilo para la pectina B, se aplicó el procedimiento realizado por Rivadeneira y Cáceres (2009), así:

Al extracto líquido (pectina líquida) se le agregó etanol al 60% cuyo volumen es 1.5 veces el volumen del extracto, se agitó para precipitar la pectina. Se filtró lavando con dos porciones de 5.0 ml de etanol para neutralizar el ácido que había quedado en la pectina, por último el resultado se secó en la estufa a 60 °C y se dejó enfriar.

Se tomó 5.0 gramos de la muestra anteriormente secada, se disolvió por 10 minutos con una mezcla de 5.0 ml de Ácido Clorhídrico y 100 ml de alcohol al 60%. Se transfirió a un embudo de Buchner y se lavó con seis porciones de 15 ml de la solución de ácido clorhídrico y el alcohol al 60%. Finalmente, se lavó con 20 ml de alcohol y se secó por 1 hora a 40.5°C. Se tomó 0.5 g de la muestra seca en un erlenmeyer y se mezcló con 2.0 ml de alcohol, se adicionó 100 ml agua libre de dióxido de carbono, se insertó el tapón y se agitó hasta que la pectina quedó completamente

disuelta. Se adicionó 5 gotas del indicador fenolftaleína, se tituló con Hidróxido de Sodio 0.5 N, y se registró como titulación inicial.

Se adicionó 20 ml de Hidróxido de Sodio 0.5N, se insertó el tapón y se agitó vigorosamente, se dejó reposar durante 15 minutos. Se adicionó 20 ml de Ácido Clorhídrico 0.5 N y se agitó bien sin tapón hasta que el color rosa desaparezca. Se adicionó fenolftaleína, y se tituló con Hidróxido de sodio 0.5 N, hasta que un ligero color rosa persistió después de una agitación vigorosa, se registró este valor como titulación de saponificación. Cada mililitro de hidróxido de sodio 0.5 N consumido en la titulación de Saponificación es equivalente a 15.22mg de $-OCH_3$.

El grado de esterificación para la pectina B se determina en base al Apéndice B tomado de Pharmacopeia National Formulary [USP-NF] citado por Rivadeneira y Cáceres (2009).

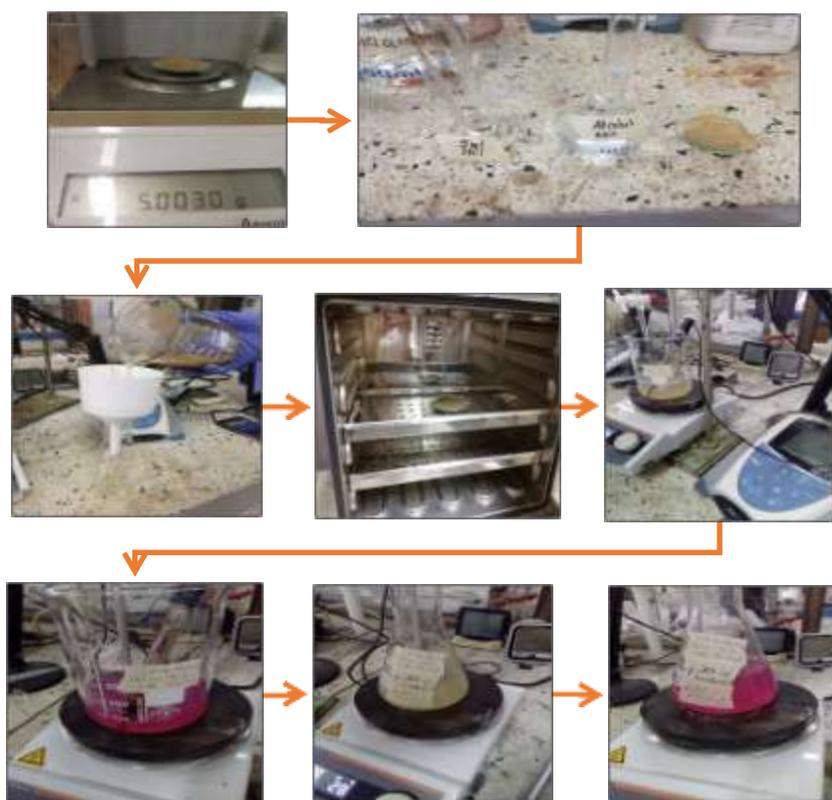


Figura 27. Procedimiento para determinar Contenido de Metoxilo de la pectina B.

3.4.6. Determinación de grado de esterificación.

El porcentaje de esterificación se calculó mediante la Ecuación 6 dividiendo los miliequivalentes del hidróxido de sodio gastados en la determinación del contenido de metoxilo por la suma de los miliequivalentes de hidróxido de sodio gastados en la determinación de la acidez libre y los gastados en la determinación del contenido de metoxilo y multiplicando este valor por 100 (Cabarcas *et al.*, 2012).

$$\text{Grado de esterificación (\%)} = \frac{N \times V \text{ NaOH (ml) en cont. metoxilo}}{(N \times V \text{ NaOH (ml) en acidez libre}) + (N \times V \text{ NaOH (ml) en cont. metoxilo)}} \quad \text{Ecuación 6.}$$

3.5. Aplicación de Tratamientos al agua Residual de Curtiembre

3.5.1. Recolección del agua residual y determinación de los niveles de cromo por absorción atómica (AA).

Se tomó muestra del agua residual del proceso de curtido de una empresa que opera de manera artesanal en el municipio de Gigante (Huila), su identidad es confidencial debido a petición del propietario.



Figura 28. Empresa artesanal de curtiembre



Figura 29. Residuo final del proceso.

Se adoptó algunas recomendaciones para la toma de muestras de aguas residuales dadas en métodos normalizados para el análisis de agua potable y residual en determinación de metales (American Public Health Association [APHA], American Water Works Association [AWWA], Water Environment Federation [WPCF], 1985).

Antes de hacer la toma de la muestra, se agitó el agua contenida en la alberca seleccionada con el fin de obtener una muestra homogénea. Las muestras se tomaron en recipientes de polipropileno o polietileno con tapón de polietileno, se purgó tres veces los envases antes de llenarlos con la muestra, el agua se filtró con lienzo para eliminar los residuos sólidos provenientes del proceso de curtido y se conservó en refrigeración a 4 °C para evitar un cambio de volumen ocasionado por la evaporación.



Figura 30. Filtrado con lienzo del agua residual.

3.5.2. Diseño experimental.

Se trabajó con una estructura factorial de 3x2x2 compuesta de 12 tratamientos que se ejecutaron por triplicado para un total de 36 ensayos. A continuación se explican los factores y niveles trabajados.

- **Factores**

Factor 1: Método de obtención de la pectina.

Niveles:

A: Extracción de pectina sólida (método A).

B: Extracción de pectina líquida (método B)

C: Extracción de pectina sólida (método C)

Factor 2: Dosis (g pectina/ ml solución contaminada)

Niveles:

D₁: 2 g·200 ml⁻¹

D₂: 4 g·200 ml⁻¹

Factor 3: pH

Niveles:

pH₁: 3.5

pH₂: 5.0

Así, el diseño experimental se estructuró de la siguiente manera:

T1: A+D₁+pH₁

T2: A+D₂+pH₁

T3: B+D₁+pH₁

T4: B+D₂+pH₁

T5: C+D₁+pH₁

T6: C+D₂+pH₁

T7: A+D₁+pH₂

T8: A+D₂+pH₂

T9: B+D₁+pH₂

T10: B+D₂+pH₂

T11: C+D₁+pH₂

T12: C+D₂+pH₂

3.5.3. Aplicación de tratamientos y determinación de concentración de cromo.

Se utilizó 6 vasos de precipitado con capacidad de 250 ml, en cada uno de ellos se agregó 200 ml de la muestra contaminada. Debido a que la solución madre tenía un pH inicial de 3.5 se dejó tres vasos de precipitado con este valor y a los otros se le adicionó hidróxido de sodio 2 N para aumentar el pH a 5.0.

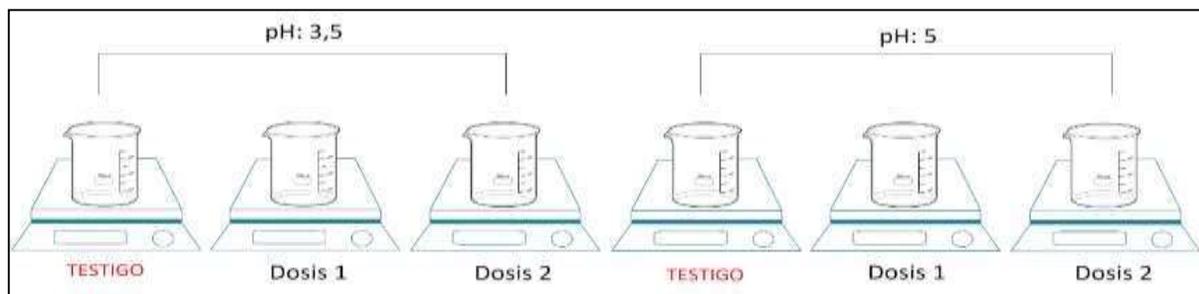


Figura 31. Aplicación de tratamientos.

Estas muestras se colocaron sobre 6 agitadores magnéticos, durante el primer minuto se trabajó con velocidad de agitación de 150 rpm con el fin de estabilizar la agitación en los seis vasos; posterior a este tiempo, se adicionó simultáneamente la dosis de pectina $2 \text{ g} \cdot 200 \text{ ml}^{-1}$ (dosis 1), $4 \text{ g} \cdot 200 \text{ ml}^{-1}$ (dosis 2) y Testigo para cada valor de pH, luego la velocidad de agitación se aumentó a 250 rpm por 5 minutos con el fin de que la pectina se disolviera en toda la muestra de agua; luego, se disminuye la velocidad de agitación a 200 rpm durante 60 minutos (Floculación), finalmente se da paso a la sedimentación por un tiempo de 30 minutos. Pasado el tiempo, se filtró para separar el sedimento y la muestra filtrada se depositó en recipientes de plástico para realizar la valoración de concentración de cromo. El proceso se aplicó por triplicado para cada tratamiento.

Para aplicar la dosis de la pectina B se tiene en cuenta la densidad del coagulante, para determinarla se pesó un volumen de 50 ml de pectina líquida en un balón aforado de 50 ml que tuvo un peso de 50.0108 g, aplicando la fórmula de densidad esta resultó de $1.0 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$. De esta manera las dosis de la pectina B fue de $2 \text{ ml} \cdot 200 \text{ ml}^{-1}$ y $4 \text{ ml} \cdot 200 \text{ ml}^{-1}$



Figura 32. Densidad de la pectina B.

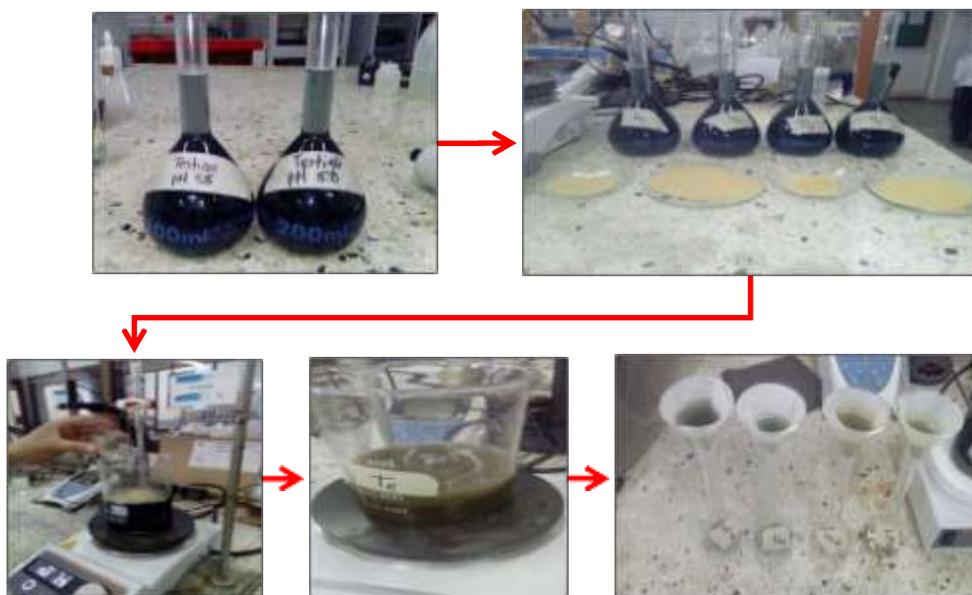


Figura 33. Muestra aplicación de tratamientos.

Para la valoración de concentración de cromo tanto inicial (testigos) como la final (tras la aplicación de tratamientos) se utilizó un espectrofotómetro de absorción atómica ContrAA 300 marca Analyticjena. La determinación de concentración de cromo se realizó aplicando el método 3111B-Método directo de llama aire-acetileno- de la APHA et al. (1985) y el manual de métodos analíticos para espectrofotometría de Absorción Atómica de Perkin Elmer Inc. (1982).

La determinación de concentración de cromo abarca el siguiente procedimiento:

- **Preparación de soluciones.**

Solución patrón de cromo 100 ppm: Se pesó 0.01 g de cromo metálico en vaso de precipitados de 100 ml. Se adicionó una mínima cantidad de HNO_3 1:1 y 3 ml de ácido clorhídrico (HCl 37% R.A.). Se tapó con vidrio de reloj. Seguido de esto se colocó en plancha eléctrica calentando hasta ebullición moderada durante 10 minutos y se llevó casi hasta sequedad. Se dejó enfriar y mediante embudo de vidrio se transfiere a balón volumétrico de 100 ml lavando con agua desionizada caliente. Se enfrió la solución y se llevó hasta el aforo con ácido clorhídrico 0.1N.

Soluciones patrón de trabajo 1, 2, 3 y 5 ppm: Se agitó la solución de cromo de 100 ppm, con pipetas volumétricas medir 2; 4; 6; y 10 ml de la solución de cromo 100 ppm y se transfiere a balones volumétricos de 200 ml. con ácido clorhídrico 0.5 N se llevó hasta el aforo y tapo.

- **Determinación de cromo de la muestra de agua residual.**

Digestión de la muestra: Bajo cabina de extracción se colocó 10 ml de muestra de agua residual en vaso de precipitados de 50 ml, se adicionó ácido nítrico concentrado (3 ml de HNO₃ 65%). En plancha eléctrica se calentó hasta ebullición moderada y se mantuvo en digestión durante 15 minutos y se dejó enfriar.

Filtración y dilución: Se lavó con agua desionizada el vidrio de reloj, recogiendo las aguas de lavado en el mismo vaso de precipitados en que se hizo la digestión, se dejó enfriar la solución, se filtró y se recogió el filtrado en balón volumétrico de 250 ml. Se agregó agua desionizada hasta el aforo y tapo.

Finalmente se realizó las lecturas de concentración de cromo en el Espectrofotómetro de Absorción Atómica de acuerdo con los parámetros descritos en la Tabla 4. Debido a la alta concentración de cromo de las muestras se hizo necesario realizar dilución 1:1000 y se calculó contenido de cromo en mg·l⁻¹.

Tabla 4

Parámetros instrumentales para la cuantificación de cromo por AA.

Parámetro	Valor
Longitud de onda	357.9 nm
Slit	0.7 nm
Sensitividad de chequeo	4.9 ppm
Rango lineal	5.0 ppm
Llama reductora	Aire-Acetileno

Fuente: APHA (1985)

3.6. Procesamiento y Estudio Estadístico

El porcentaje de remoción de cromo (% remoción) y la capacidad de adsorción (q) se determinó aplicando las siguientes ecuaciones:

$$\% \text{ Remoción} = \frac{(C_o - C_{eq})}{C_o} \times 100 \quad \text{Ecuación 7}$$

$$q = \frac{V(C_o - C_{eq})}{m} \quad \text{Ecuación 8}$$

Donde:

q: Capacidad de adsorción ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)

V: Volumen de la solución (L)

C_o: Concentración inicial de cromo ($\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$)

C_{eq}: Concentración luego de aplicación de tratamiento ($\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$)

m: Masa del biosorbente (g)

Se realizará un análisis estadístico para determinar si existen diferencias significativas utilizando el programa estadístico *STATGRAPHICS® Centurion XVI* llevando a cabo un análisis de varianza (ANOVA Multifactorial) y utilizando el método de Tukey para la comparación de las medias.

El procedimiento ANOVA Multifactorial está diseñado para construir un modelo estadístico describiendo el impacto de dos o más factores categóricos X_j de una variable dependiente Y. Se realizan pruebas para determinar si hay o no diferencias significativas entre las medias a diferentes niveles de los factores y si hay o no interacciones entre los factores. Además, los datos pueden desplegarse gráficamente de varias maneras, incluyendo un gráfico múltiple de dispersión, una gráfica de medias y una gráfica de interacciones.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS Y ANÁLISIS

4.1. Caracterización de la Pectina

4.1.1. Rendimiento.

Tabla 5

Rendimiento del proceso de extracción de pectina.

	Peso materia prima (kg)	Peso pectina obtenida (kg)	Rendimiento (%)
Pectina A	8	4.8	54.8
Pectina B (10 kg cáscaras +30 kg agua)		22	55.0
Pectina C	25	0.8	3.2

El rendimiento permite identificar el porcentaje en peso del material gelificante con relación a la materia prima empleada. En la Tabla 5 se muestran los rendimientos obtenidos luego de la extracción de la pectina por los diferentes métodos, la pectina A obtuvo un rendimiento del 54.8%, este porcentaje se destaca entre los valores que reporta Acevedo y Ramírez (2011) donde el rendimiento en frutos como la toronja, la naranja y el limón se encuentran entre el 4 y 10% y Cabarcas *et al.* (2012) donde los valores se encuentran entre el 10 y el 35% para cítricos, manzana, girasol, remolacha y maracuyá. El valor del rendimiento de la pectina A se excede debido a que el método de extracción implicó solo un proceso de secado, por lo que es posible que en el producto final hayan quedado otros elementos contenidos en la materia prima.

El extracto líquido o la pectina B, tuvo un peso de 22 kg mayor al peso inicial de la materia prima debido a que en el proceso de hidrólisis ácida previo a la filtración se agrega agua acidificada, aumentando el volumen y rendimiento de extracto péctico, representando en un 220%. Sin embargo, Rivadeneira y Cáceres (2009) definieron el porcentaje de rendimiento

de la pectina líquida como el porcentaje en peso del material gelificante con relación a la materia prima empleadas (cáscara + agua) en el proceso de hidrólisis, en este sentido el rendimiento de la pectina B es de 55.0%, mayor al encontrado por los mismos elaboración propia en maracuyá con rendimiento de 36.51%.

Por otro lado la pectina C, que implica un proceso de extracción más complejo en comparación a la pectina A, presentó un rendimiento de 3.2%, el cual es considerado un valor muy bajo, por lo que se sugiere reevaluar la metodología aplicada durante la extracción de la pectina para aumentar el rendimiento. Lo cual es posible si al bagazo obtenido luego de la primera filtración se le hiciera una segundo proceso de hidrólisis ácida; por otro lado si en el proceso de precipitación a la solución concentrada se le agregará mayor volumen de alcohol etílico 96°, precipitaría mayor cantidad de pectina, aumentado así el rendimiento.

El rendimiento de la pectina C extraída por hidrólisis ácida se asemeja con lo reportado en maushan por Maldonado *et al.* (2010) con rendimiento del orden de 2.15%, en naranja por Devia (2003) con 3.1% y muy por debajo según lo reportado en plátano por (Cabarcas *et al.*, 2012) con 11.96% en promedio, y en naranja por Rodríguez y Román (2004) con 11.94%.

4.1.2. Identificación experimental de la pectina.

Tabla 6

Pruebas de identificación pectinas A y C.

Prueba	Pectina A	Pectina C
A una muestra de 1.0 g de pectina se le adicionan 10 ml de agua y 10 ml de alcohol. Se forme un precipitado gelatinoso traslúcido.	+	+
A 50 ml de una solución 1:100 de la muestra de pectina y agua, se agrega 1 ml de Hidróxido de Sodio 2 N y se deja reposar por 15 minutos, se forma un gel.	+	+

Tabla 7*Prueba de identificación pectina B.*

Prueba	Pectina B
Prueba de precipitación con alcohol adicionando 10 ml de alcohol etílico 96° a 10 ml de pectina líquida, dando lugar a la precipitación de la pectina en presencia de alcohol.	+

*Figura 34. Identificación de la pectina A, B y C.***4.1.3. Contenido de Humedad (%).****Tabla 8***Contenido de humedad de la pectina A, B y C.*

	Peso de la muestra (g)	Peso de la muestra seca (g)	Contenido de Humedad (%)	Contenido de Humedad Promedio (%)
	1	0.0991	9.9	
Pectina A	1	0.1010	1.1	10.0
Pectina B	-	-	100	100
	1	0.0993	9.9	
Pectina C	1	0.0942	9.4	9.7

La pectina A y la pectina C arrojan un valor de humedad entre el 9 y 10% p/p, estos valores se consideran como los máximos aceptables ya que contribuyen a que la pectina presente mayor estabilidad, tiempo de vida útil y tenga menos posibilidades de permitir el crecimiento de microorganismos, especialmente de hongos (Henaó, 2012). Un valor que exceda a este, además de presentar desventajas en la estabilidad de la pectina, puede afectar su manipulación cuando se pretende pulverizar, ya que se adhiere a las superficies del elemento pulverizador. Por otra parte cuando la pectina está muy seca, también representan un problema al oponer resistencia a la molienda.

El contenido de humedad de las pectinas A y C, son comparables con la pectina comercial con 10.5% de humedad según D'Addosio *et al.* (2005), 10.81% en la pectina comercial marca Merck según Chasquibol, Arroyo y Morales (2008) y 8.55% en pectina estándar Merck según Barreto *et al.* (2017). Los colores de la pectina resultante son un indicador de que tan seca o que tan húmeda está la muestra, por lo general cuando está seca, la pectina presenta un color más oscuro, lo que coincide con las características presentadas por la pectina A y C (Figura 35).



Figura 35. Diferencia de color de la pectina A y C.

La pectina B al estar en estado líquido, presenta una humedad del 100%, razón por la cual su caracterización se orientara hacia el análisis del sustrato.

4.1.4. Contenido de cenizas (%).

Tabla 9

Contenido de cenizas de la Pectina A y C.

	Peso de la muestra (g)	Peso de cenizas (g)	Contenido de Cenizas (%)
Pectina A	10	1.12	11.20
Pectina C	10	0.95	9.50

El contenido de cenizas equivale al residuo inorgánico o cantidad de impurezas orgánicas que permanecen en las muestras después de calcinar la materia orgánica, el contenido de cenizas presentado por la pectina C se acerca al valor máximo permitido del 10%, según lo emitido por Food Chemical Codex [FCC] (1996) citado por Universidad Nacional Autónoma de México [UNAM] (2007) y por debajo del máximo aceptable 10% según United States Pharmacopeia [USP] (2014) citado por Barreto *et al.* (2017).

El contenido de cenizas de la pectina A se encuentra por encima de la pectina comercial marca Merck con 3.99% según Cabarcas *et al.* (2012), 3.77% según Barreto *et al.* (2017) para la misma marca de pectina y 1.34% en pectina cítrica marca Agroquim según Cuesta y Muñoz (2010). Cuando hay un valor superior al 10% en contenido de cenizas, como en el caso de la pectina A (11.2%), se induce a que en esta condición pueda haber interferencia de ciertos minerales, que dificultan la interacción de cadenas de ácido galacturónico interfiriendo en la formación de la estructura del gel ocasionando sinéresis del producto elaborado (Paredes, Hernández y Cañizares, 2015). Por ende, es probable que este valor haya influido notablemente en la capacidad de la pectina para gelificar una solución.

4.1.5. Peso equivalente y acidez libre.

Tabla 10

Peso equivalente y Acidez libre de la pectina A y C.

	NaOH consumido (ml)	Peso equivalente (mg·meq ⁻¹)	Acidez libre (meq carboxilos libres·g ⁻¹)
Pectina A	1.3	3846.2	0.26
Pectina C	3.2	1562.5	0.64

Hay diferencia significativa entre el valor de peso equivalente de la Pectina A y de la Pectina C, siendo 3846.15 mg·meq⁻¹ y 1562.5 mg·meq⁻¹, respectivamente. La razón por la cual el valor de la Pectina C está muy por debajo al reportado por la pectina A, se debe a que el método de extracción utilizado en la pectina A no incluye ningún proceso de acidificación, mientras que en el método de extracción de la pectina C, se sumergió el estrato en una solución acidificada de pH 3, lo cual provoca la fragmentación de las cadenas de los ácidos poligalacturónicos, haciendo descender el peso molecular y por ende, el peso equivalente de la pectina (Muñoz, 2011). La pectina C presenta un peso equivalente menor al de la pectina comercial marca Merck con 1775.46 mg·meq⁻¹ según Barreto *et al.* (2017) y mayor al de la pectina cítrica marca Agroquim con 1070 mg·meq⁻¹ según Cuesta y Muñoz (2010).

Según Barreto *et al.* (2017) la pectina comercial marca Merck tiene 0.78 meq carboxilos libres·g⁻¹ de acidez libre. Tanto la pectina A como C presentó acidez libre con valores menores a este con 0.26 meq carboxilos libres·g⁻¹ de acidez libre y 0.64 meq carboxilos libres·g⁻¹ de acidez libre, respectivamente. La acidez libre de la pectina C se encontró levemente por encima de la pectina A, debido a que la primera fue sometida a un proceso de hidrólisis ácida para su extracción y según Cabarcas *et al.* (2012) la acidez libre aumenta a medida que los pH son bajos, ya que se desesterifica los grupos carboxilos y su naturaleza se modifica disminuyendo su estado como forma de sales o ésteres y aumentando su presencia como grupos ácidos.

4.1.6. Contenido de metoxilo y grado de esterificación.

Tabla 11

Contenido metoxilo y grado de esterificación de la pectina A, B y C.

	Contenido metoxilo (%)	Grado de esterificación (%)
Pectina A	7.01	89.6
Pectina B	4.56	28.0
Pectina C	10.73	84.4

De acuerdo a los valores del contenido de metoxilo, podemos indicar que la pectina A se considera de alto metoxilo, al estar en el valor del 7.01%, diferente al valor de la Pectina C, que supera en aproximadamente 3% el valor base, y también se considera de alto metoxilo. La razón por la cual el valor de contenido de metoxilo de la pectina C es mayor que el de la pectina A, se debe a que el proceso de extracción de esta pectina se dio en un medio acidificado, lo cual favorece la metoxilación de algunos grupos de la cadena de ácido galacturónico (Muñoz, 2011).

Con respecto al grado de esterificación la pectina A y C presentan un alto grado de esterificación, con valores de 84.4% y 89.6%, respectivamente; lo cual las clasifica en pectinas de alto grado de esterificación, y además de alto grado de metoxilo al tener un grado de esterificación mayor al 50%, por otro lado, la pectina B tiene grado de esterificación de 28%, siendo pectina de bajo grado de esterificación y bajo metoxilo.

Al mantenerse la relación directa entre el contenido de metoxilo y el grado de esterificación, se deduce que la esterificación del grupo carboxilo del polímero se dio con grupos metoxilos. Sin embargo, se logra apreciar que el valor de esterificación de la pectina C es menor que el valor de la pectina A, y del B menor que C, según la investigación de Muñoz (2011), por el uso de soluciones acidificadas para la extracción de la pectina, puede provocar un

descenso en las cadenas de ácido poligalacturónico en su longitud, lo que provoca una menor cantidad de grupos esterificables. El contenido de metoxilo en las pectinas comerciales se encuentra entre el 8 y el 11% (Cabarcas *et al.*, 2012), así la pectina A presentó un contenido de metoxilo menor al de la pectina comercial y la pectina C tiene un contenido de metoxilo de 10.73% clasificando en el rango de la pectina comercial.

4.2. Resultados de Remoción de Cromo

La muestra de agua residual de curtiembre recolectada en el Municipio de Gigante, presentaba unos rangos altos en concentración de cromo de 2317 mg·l⁻¹, con un pH igual a 3,5.

Tabla 12

Resultados de remoción de Cromo (Cr) tratamientos con pH 3.5.

Concentración Inicial de Cromo (mg·l ⁻¹)	Tratamiento	Concentración Final de Cromo (mg·l ⁻¹)	Concentración de Cromo Removido (mg·l ⁻¹)	% Remoción	% Remoción Promedio	Capacidad de Remoción (mg·g ⁻¹)	Capacidad de Remoción Promedio (mg·g ⁻¹)
2317	T1: A+D1+pH1	1940	377	16.3	18.5	37.7	42.9
		1759	558	24.1		55.8	
		1964	353	15.2		35.3	
	T2: A+D2+pH1	1741	576	24.9	24.6	28.8	28.5
		1633	684	29.5		34.2	
		1867	450	19.4		22.5	
	T3: B+D1+pH1	2004	313	13.5	12.2	31.3	28.2
		1947	370	16.0		37.0	
		2154	163	7.0		16.3	
	T4: B+D2+pH1	1952	365	15.8	14.9	18.3	17.2
		1908	409	17.7		20.5	
		2057	260	11.2		13.0	
	T5: C+D1+pH1	1856	461	19.9	18.2	46.1	42.1
		1847	470	20.3		47	
		1986	331	14.3		33.1	
	T6: C+D2+pH1	1689	628	27.1	33.9	31.4	39.3
		1365	952	41.1		47.6	
		1538	779	33.6		39.0	

Tabla 13

Resultados de remoción de Cromo (Cr) tratamientos con pH 5.0.

Concentración Inicial de Cromo (mg·l ⁻¹)	Tratamiento	Concentración Final de Cromo (mg·l ⁻¹)	Concentración de Cromo Removido (mg·l ⁻¹)	% Remoción	% Remoción Promedio	Capacidad de Remoción (mg·g ⁻¹)	Capacidad de Remoción Promedio (mg·g ⁻¹)
1940	T7 : A+D1+pH2	1604	336	17.3	19.0	33.6	37.6
		1622	318	16.4		31.8	
		1465	475	24.5		47.5	
	T8 : A+D2+pH2	1482	458	23.6	23.0	22.9	22.4
		1483	457	23.6		22.85	
		1510	430	22.2		21.5	
	T9 : B+D1+pH2	1852	88	4.5	6.0	8.8	12.4
		1796	144	7.4		14.4	
		1801	139	7.2		13.9	
	T10 : B+D2+pH2	1699	241	12.4	12.0	12.05	11.6
		1709	231	11.9		11.55	
		1715	225	11.6		11.25	
	T11 : C+D1+pH2	1690	250	12.9	17.0	25	32.0
		1540	400	20.6		40	
		1629	311	16.0		31.1	
	T12 : C+D2+pH2	1558	382	19.7	22.0	19.1	21.6
		1354	586	30.2		29.3	
		1613	327	16.9		16.35	

En las Tablas 12 y 13, se observa una diferencia significativa en el valor de la concentración inicial de cromo en las muestras con pH 3.5 y 5.0, estas diferencias se deben principalmente a la adición de agentes alcalinos (NaOH) sobre la muestra para elevar el pH de 3.5 a 5.0. Según Pinilla (2014), El hidróxido de sodio (NaOH) es utilizado en las aguas residuales de curtiembre para producir la precipitación del cromo como hidróxido, la implementación de esta tecnología minimiza la contaminación de aguas con cromo y disminuye costos de producción por recuperación del cromo y del agua. Además, estas diferencias en concentración inicial se deben a que la preservación completa de las muestras de aguas residuales es casi imposible, nunca puede lograrse la completa estabilidad de todos sus

constituyentes, las técnicas de preservación aplicadas sólo pueden retardar los cambios químicos y biológico que continúan inevitablemente después de que la muestra se retira de su fuente. Como se observa en las tablas 13 y 14 existe diferencia entre los valores de la concentración inicial de cromo cuando la muestra está a un pH de 3.5 y cuando se ajusta a un pH de 5.0, la concentración de cromo se reduce de $2317 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ a $1940 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$, según Laboratorio de Química Ambiental del Ideam (1997):

Los cambios químicos son función de las condiciones físicas y suceden en la estructura de ciertos constituyentes, los cationes metálicos pueden precipitarse como hidróxidos, formar complejos con otros constituyentes, e incluso algunos, tales como aluminio, cadmio, cromo, cobre, hierro, plomo, manganeso, plata y zinc, se pueden adsorber en las superficies de los recipientes (vidrio, plástico, cuarzo, etc.). Bajo determinadas condiciones oxidantes o reductoras, los iones pueden cambiar de estado de valencia; otros constituyentes se pueden disolver o volatilizar con el paso del tiempo.

Debido a que la finalidad de la investigación es identificar si existe remoción en la concentración cromo de aguas residuales de curtiembre por la actuación de la pectina se trabaja en porcentajes de remoción respecto a una concentración inicial de cromo (testigo) y se calcula el poder de bioadsorción en miligramos de cromo removido sobre gramos de pectina usada.

Ramírez (2016) trabajó con agua residual de la misma curtiembre de donde se hizo la toma de la muestra del agua residual de esta investigación, la concentración de cromo total en ese momento fue de $352.2 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$, significativamente menor a la encontrada en esta investigación debido a que la curtiembre en cuestión opera de manera artesanal y por tanto las cantidades de cromo usadas no son estables en el tiempo. Ramírez (2016) aplicó pectina extraída de cáscaras de naranja con metodología similar a la pectina A obtuvo remoción de Cr del 94% en concentración de $331.0 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$, mientras que en la mayor concentración removida en esta investigación fue de $952.0 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ como se puede observar en la Tabla 12.

4.2.1. Análisis estadístico de los porcentajes de remoción en las aguas de curtiembre.

Para determinar si los factores (tipo de pectina, dosis, pH) tienen o no un efecto significativo en la variable dependiente (% Remoción), se realiza un análisis de varianza. Los resultados son desplegados en la Tabla ANOVA:

Tabla 14

Análisis de Varianza para Remoción (%) – Suma de Cuadrados Tipo III.

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Tipo de Pectina	928.294	2	464.147	21.01	0.0000
B: Dosis (g·200 ml ⁻¹)	392.224	1	392.221	17.76	0.0002
C: pH	128.235	1	128.235	5.81	0.0221
RESIDUOS	684.796	31	22.0902		
TOTAL (CORREGIDO)	2133.55	35			

En la Tabla 14 se evalúa la incidencia que tiene cada factor con la variabilidad de Remoción (%), eliminando el efecto de los demás factores. Los valores-P prueban la significancia de cada uno de los factores, ya que presentan valores menores a 0.05. Por ende, se establece que todos los factores evaluados (Tipo de pectina, dosis y pH) tienen un efecto estadísticamente significativo e influyen sobre el porcentaje de remoción de cromo con un 95% de nivel de confianza.

Tabla 15

Pruebas de Múltiple Rangos para Remoción (%) por pH.

<i>pH</i>	<i>Casos</i>	<i>Medias LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
pH (5.0)	18	16.6037	1.10781	X
pH (3.5)	18	20.3784	1.10781	X

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>Sigma LS</i>
pH (3.5)- H (5.0)*	*	3.7747	1.3.19526

Para los valores de P-Valores que tienen un efecto estadísticamente significativo sobre el % de Remoción de cromo, se aplica un procedimiento posterior de comparación múltiple, que determina cuáles medidas son significativamente diferentes a otras. En la Tabla 15 se estima que el factor que presenta diferencia significativa es el pH, en la columna (Grupos homogéneos) hay 2 filas, cada una marca una sola X, indicando que los dos pH caen en grupos significativamente diferentes. En la columna (Sig.) el asterisco indica diferencia estadísticamente significativa con un nivel de confianza del 95%.

Tabla 16

Medias por Mínimos Cuadrados para Remoción (%) con intervalos de confianza del 95 %.

			<i>Error</i>	<i>Limite</i>	<i>Limite</i>
<i>Nivel</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Est.</i>	<i>Inferior</i>	<i>Superior</i>
MEDIA GLOBAL	36	18.491			
Tipo de Pectina					
A	12	21.4098	1.35678	18.6426	24.1769
B	12	11.3492	1.35678	8.58207	14.1164
C	12	22.714	1.35678	19.9469	25.4812
Dosis (g·200 ml ⁻¹)					
D (2)	18	15.1903	1.10781	12.9309	17.4496
D (4)	18	21.7918	1.10781	19.5324	24.0512
pH					
pH (3.5)	18	20.3784	1.10781	18.119	22.6378
pH (5.0)	18	16.6037	1.10781	14.3443	18.8631

Esta tabla despliega las medias de mínimos cuadrados para cada nivel de los factores y para pares de niveles de cualquier interacción bifactorial incluida. Cada media se muestra junto a su error estimado estándar y un intervalo de confianza.

Las gráficas de medias presentan la información gráfica de las medidas e intervalos del porcentaje de remoción de cada factor (tipo de pectina, pH y dosis) con sus respectivos niveles. Para cada factor se construye una gráfica que relaciona el nivel de medias y un rango de valores del porcentaje de remoción. Se evalúa si existe diferencia estadísticamente significativa con un nivel de confianza del 95% entre los niveles de cada factor, si al trazar una línea horizontal en uno de los puntos que involucra un nivel, este traslapa el mismo valor con otro nivel. Con lo que se puede estimar la diferencia o similitud entre cada uno de los niveles evaluados.

La diferencia entre la media de dos tratamientos será significativa si los respectivos intervalos LSD no se solapan.

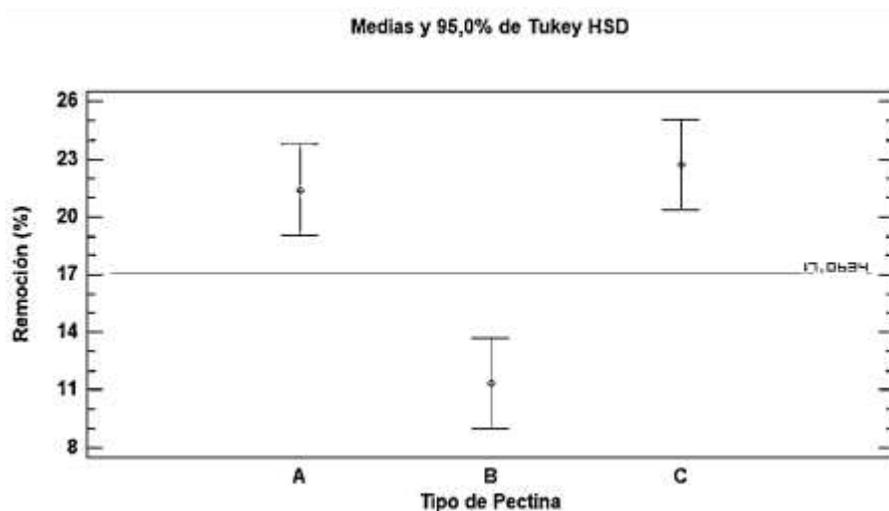


Figura 36. Gráfica de medias para el tipo de pectina.

Puede constatar que existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de la pectina B y los otros dos tipos de pectina, ya que el intervalo para la pectina B no se traslapan o solapa con los intervalos de la pectina A y C, por otro lado no existe diferencia significativa entre los porcentajes de remoción de la pectina A y C ya que sus intervalos se traslapan. El porcentaje de remoción de cromo es significativamente más bajo aplicando la pectina B que la pectina A o C.

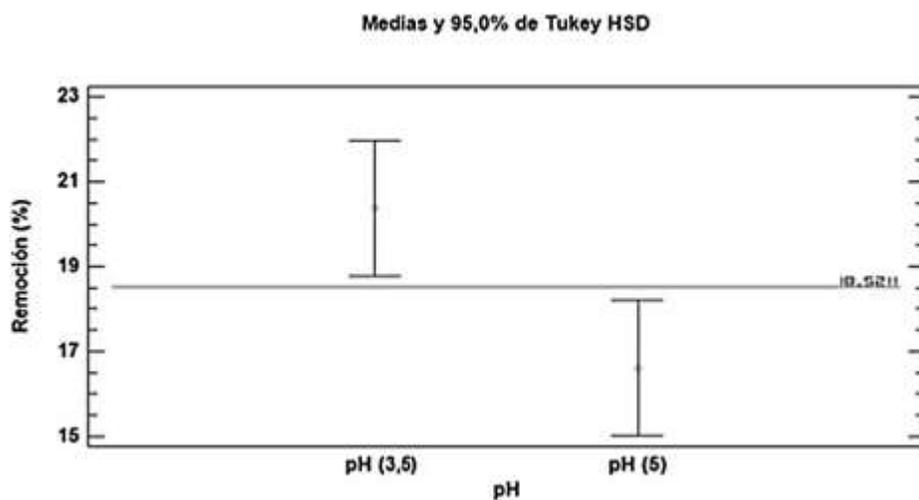


Figura 37. Gráfica de medias para el pH.

El intervalo para pH 3.5 no se traslapa con el intervalo de pH 5.0, indicando una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de los dos niveles. Además, se puede observar que el porcentaje de remoción de cromo es mayor en pH de 3.5.

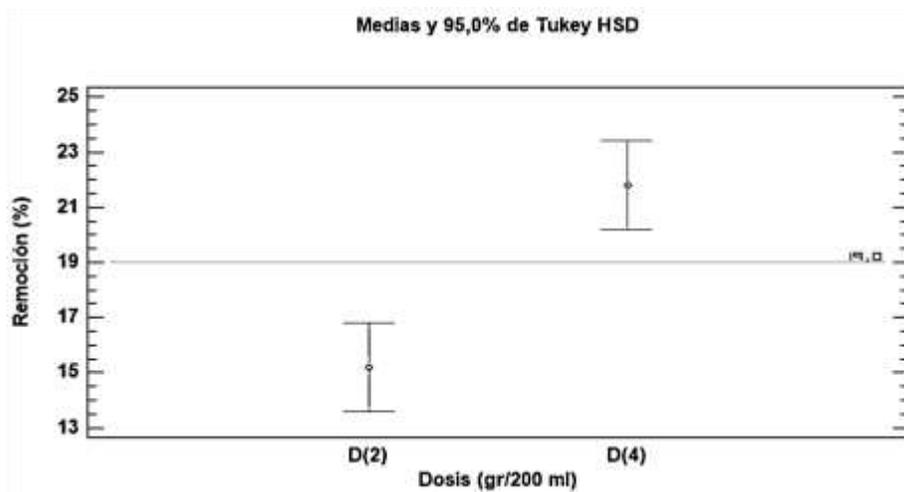


Figura 38. Gráfica de medias para la Dosis.

Igualmente, el intervalo para dosis de $2\text{g}\cdot 200\text{ ml}^{-1}$ no se traslapa con el de dosis $4\text{g}\cdot 200\text{ ml}^{-1}$, indicando una diferencia estadísticamente significativa entre las medias a esos dos niveles. El porcentaje de remoción es significativamente mayor al aumentar la dosis.

Con lo anterior, es posible identificar que los valores de remoción de cromo en las aguas residuales, varían de acuerdo al tipo de pectina empleada, a la dosis aplicada, y al pH de la muestra evaluada. Aunque la pectina A y la pectina C, no hayan presentado diferencias significativas, según los resultados de las Tablas 12 y 13, la pectina C presentó mayores índices de remoción que la pectina A. El tratamiento 6 (T_6), presentó el mayor porcentaje de remoción de Cr de 33.9% con capacidad de remoción de $39.3\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$, utilizando la pectina C, con una dosis aplicada de $4\text{ g}\cdot 200\text{ ml}^{-1}$, sobre una muestra de agua residual con un pH de 3.5. Con esto se evidencia que bajo condiciones de pH bajo, y con una mayor cantidad utilizada de biomaterial, aumenta la capacidad de la pectina como material coagulante para remover Cromo.

Sin embargo, teniendo en cuenta el procedimiento que involucra la extracción de la pectina C y comparando el rendimiento obtenido con el de la pectina A, se podría determinar como alternativa viable para remoción de cromo de agua de curtiembre el tratamiento 2 (T_2) con porcentaje y capacidad de remoción de 24,6% y $28.8\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$, con una dosis aplicada de $4\text{ g}\cdot 200\text{ ml}^{-1}$, sobre una muestra de agua residual con un pH de 3.5.

El poder de gelificación de la pectina C al realizar las pruebas de agua fue mayor que el presentado por la pectina A. Los tratamientos que involucraban la pectina C, gelificaron en menor tiempo las muestras. Las características del gel a formar dependen esencialmente del grado de esterificación que influye en la resistencia de los geles, la viscosidad de las disoluciones y la velocidad de formación del gel, indicando que el número de grupos metoxílicos presentes en la molécula de pectina es el poder gelificante de la misma. Es decir, que la resistencia del gel y la velocidad de gelificación disminuyen con el grado de esterificación. Ello puede ser explicado probablemente por el aumento de interferencia esférica

que producen los grupos metil-ester sobre las interacciones intermoleculares mediante puentes de hidrógeno. Mientras que con las de grado de esterificación mayor decrece el tiempo de gelificación, lo cual puede ser debido al incremento de la interacción hidrofóbica entre las moléculas de pectina.



Figura 39. Gelificación de la muestra con el tratamiento.

Cabe aclarar que si se tuviera una pectina con 100% de grado de esterificación o 16% de contenido de metoxilo sería más bien una protopectina; por lo contrario si la metoxilación es de 0% sería un ácido pectínico, considerándose estos extremos como sustancias que no aportan la propiedad gelificante a los alimentos Rivadeneira, M., y Cáceres, P. (2009).

CONCLUSIONES

La pectina A es de alto metoxilo con alto grado de esterificación, resultando positivo en pruebas de identificación, con rendimiento de 54.8%. En cuanto al contenido de humedad se encuentra dentro del rango de máximo permisible, el contenido de cenizas es mayor al máximo aceptable y difiere altamente en peso equivalente y acidez libre. Presenta poca variación en contenido metoxilo y grado de esterificación en comparación al presentado por la pectina comercial.

La pectina B se clasifica bajo metoxilo con bajo grado de esterificación, obtuvo un rendimiento de 55.0%, positivo en pruebas de identificación. Se descarta el uso de este tipo de pectina para la remoción de cromo (Cr) ya que presenta el menor porcentaje y capacidad de remoción.

La pectina C con clasificación de alto metoxilo y alto grado de esterificación, obtuvo un rendimiento de 3.2% siendo el más bajo debido al proceso de extracción y además arrojó un resultado positivo en pruebas de identificación. Este tipo de pectina presenta humedad, contenido de cenizas, metoxilo y grado de esterificación que se encuentran dentro de los valores permisibles. En cuanto a peso equivalente y acidez libre difiere un poco en comparación a la pectina comercial; sin embargo, es la pectina que más se acerca a los parámetros de calidad exigidos.

Los valores de remoción de cromo en las aguas residuales de curtiembre varían de acuerdo al tipo de pectina, a la dosis aplicada y al pH de la muestra evaluada. Para el tipo de pectina no existe diferencia estadísticamente significativa entre los porcentajes de remoción de cromo al usar la A y C, no obstante, sí se presenta al aplicar la pectina B. Existe una diferencia estadísticamente significativa entre el pH de la muestra y dosis aplicada, donde el porcentaje de remoción es mayor en pH de 3.5 y dosis de 4 g·200 ml⁻¹; lo cual indica que la pectina de cholupa actúa mejor a pH bajos y dosis altas.

La pectina C con el tratamiento 6 (T_6) presenta el mayor porcentaje de remoción de cromo (Cr) con 33.9% y con una capacidad de remoción de $39.3 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$. Sin embargo, al tener en cuenta el procedimiento que involucra la extracción de la pectina, costos, rendimientos y la alta capacidad de gelificación que presentó la pectina C; se determina como alternativa viable para remoción de cromo de agua de curtiembre el tratamiento 2 (T_2) aplicando pectina A con porcentaje y capacidad de remoción de 24,6% y $28.8 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$, respectivamente.

RECOMENDACIONES

Los desechos orgánicos generados en la central de Abastos SURABASTOS son abundantes por lo que resulta viable aplicar un manejo a estas biomásas que pueden ser usados como alternativa en el tratamiento de agua de efluentes industriales para remoción de metales pasados.

Al momento de toma de muestra y preservación de agua residual es necesario ser rigurosos, esto con el fin de mantener la muestra de agua de forma estable. Además, realizar las pruebas en el menor tiempo posible con el fin de reducir la variación de concentraciones iniciales del metal en el agua. Se recomienda también trabajar un diseño experimental con un factor de concentración inicial de cromo con niveles entre los $100 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$, $200 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ y $300 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ para determinar la concentración en la que la pectina actúa con mayor eficiencia.

Optimizar el proceso de extracción de las pectinas, en el caso de la pectina A reduciendo las pérdidas en la molienda y tamizado. Para el caso de la pectina C el rendimiento puede aumentar si al bagazo obtenido luego de la primera filtración se le hacen varios procesos de hidrólisis ácida, trabajar con mayor cantidad de alcohol etílico 96° el proceso de precipitación y reutilizar el alcohol destilándolo, así mismo minimizar las pérdidas en la molienda y tamizado.

Con el fin de aumentar el porcentaje de remoción de cromo en la muestra de agua residual de curtiembre recolectada, se recomienda evaluar una dosis óptima de coagulante (pectina) para cada pH que permita obtener resultados favorables en el proceso de remoción.

Como alternativa de solución a la disposición final del precipitado formado posterior al proceso de remoción de cromo, se propone en primera instancia inmovilizar el material bioadsorbente para evitar etapas de separación, seguido a esto se busca desorber el cromo de la pectina en el proceso de bioadsorción para reutilizar el biomaterial y el metal, evitando de esta manera la acumulación de residuos contaminantes.

LISTA DE REFERENCIAS

- Acevedo, V. y Rodríguez, D. (2011). *Análisis Técnico y económico de la pectina, a partir de la cáscara de la naranja (Citrus sinensis)* (Tesis de pregrado). Universidad de Sanbuenaventura, Santiago de Cali.
- American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA), Water Environment Federation (WPCF), 1985. *Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales*. 17 edición. Ediciones Díaz de Santos, S.A., 1992
- Artuz, L., Martínez, M., y Morales, C. (2011). Industrias curtiembres y su incidencia en la contaminación del río Bogotá. *Revista Isocuanta* 43-53
- Association of Official Analytical Chemists [AOAC] (1990). *Official Methods of Analysis*. 15 ed. USA.
- Barreto, G., Púa, A., De Alba, D., y Pión, M. (2016). Extracción y caracterización de pectina de mango de azúcar (*Mangifera indica L.*). *Temas agrarios*, 22(1), 79 -86.
- Bejarano, J., González, T., Rodríguez, J., Mendoza, I., Rivera, C., Cruzado, M., y Huamán, K. (2016). Influencia del tiempo de contacto y del tamaño de partícula de pectina de naranja (*Citrus sinensis*) en la disminución del contenido de hierro (Fe) en efluentes mineros. *Revista Agroind Sci*, 6, 169 -173.
- Bustos, J. (2012). Exportación a Ecuador de extracto de quebracho para curtido (tesis de pregrado). Universidad del Aconcagua, Mendoza.
- Cabarcas, E., Guerra, A., y Henao, C. (2012). *Extracción y caracterización de pectina a partir de cáscaras de plátano para desarrollar un diseño general del proceso de producción* (Tesis de pregrado). Universidad de Cartagena, Bolívar, Colombia.
- Cardona, A., Cabañas, D., y Zepeda, A. (2013). Evaluación del poder biosorbente de cáscara

de naranja para la eliminación de metales pesados, Pb (II) y Zn (II). *Ingeniería*, 17 (1), 1-9.

Carvajal, L., Turbay S., Álvarez L., Rodríguez A., Álvarez M., Bonilla K., Restrepo S., y Parra M. (2014). Propiedades funcionales y nutricionales de seis especies de passiflora (*passifloraceae*) del departamento del Huila, Colombia. *Revista Ingenierías Caldasia*, 36(1), 1-15.

Cerón, I., y Cardona, C. (2011). Evaluación del proceso integral para la obtención de aceite esencial y pectina a partir de cáscara de naranja. *Revista Ingeniería y ciencia*, 7(13), 65-86.

Cerquera, N., y Castro, J. (2016). Obtención de pectinas. Guía de laboratorio. Laboratorios Control de Calidad y Procesos Agroindustriales. Facultad de Ingeniería Universidad Surcolombiana, Neiva, Colombia.

Chasquibol, N., Arroyo, E., y Morales, J. (2008). Extracción y caracterización de pectinas obtenidas a partir de frutos de la biodiversidad peruana. *Revista Ingeniería Industrial*, 26 (1), 175- 199.

Chávez, A. (2010). Descripción de la Nocividad del Cromo proveniente de la industria curtiembre y de las posibles formas de removerlo. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 9(17), 41-50.

Cuestas, M., y Muñoz, R. (2010). Extracción de pectina a partir de la corteza de maracuyá (*Passiflora edulis* var. *flavicarpa* degener). *Revista Politécnica*, 31 (1), 91- 96

D'Addosio, R., Páez, G., Marín M., Mármol, Z., y Ferrer, J. (2005). Obtención y caracterización de pectina a partir de la cáscara de parchita (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa* Degener). *Revista Facultad de Agronomía*, 22 (3).

Devia, J. (2003). Proceso para producir pectinas cítricas. *Revista Universidad EAFIT*, (129), 21-29.

El Espectador, (22 de Noviembre de 2016). *Cierre de curtiembres en San Benito*. Recuperado de <https://www.elespectador.com/noticias/bogota/cierre-de-curtiembres-san-benito-articulo-666862>

Espinosa, G., y Mera, G. (2015). *Alternativas ambientales para la remoción de cromo hexavalente en residuos líquidos de los laboratorios especializados de la Universidad de Nariño* (Tesis de Maestría). Universidad de Manizales, Manizales, Colombia.

Garcés, L., y Coavas, S. (2012). *Evaluación de la capacidad de adsorción en la cáscara de Naranja (Citrus sinensis) modificada con Quitosano para la remoción de Cr (VI) en aguas residuales* (tesis de pregrado). Universidad de Cartagena, Bolívar, Colombia.

García, S., González, J., Frascaroli M., Bellú, S., Mangiameli, F., Blanes, P., Mogetta, M., Andreu, V., Atria, A., y Salas, J. (2010). Biosorción para la eliminación de metales pesado en aguas de desecho. *An Química*, 106 (2), 114 -120.

García, V., Yipmantin, A., Guzmán E., Pumachagua, R., y Maldonado, H. (2010). Estudio de la cinética de biosorción de iones Plomo en pectina reticulada proveniente de cáscaras de cítricos. *Revista de ingeniería y química*, 13 (1), 71 -78.

Garzón, J., y González, L. (2012). *Adsorción de Cr (VI) utilizando carbón activado a partir de cáscaras de naranja* (Tesis de pregrado). Universidad de Cartagena, Bolívar, Colombia.

Laboratorio de Química Ambiental del Ideam (1997). Protocolo de toma y preservación de muestra. Recuperado de http://ingenieria.udea.edu.co/isa/normas_decretos/Resumen%20Toma%20de%20muestra.pdf

- Maldonado, Y., Salazar, S., Millones, C., Torres, E., y Vásquez, E. (2010). Extracción de pectina mediante el método de hidrólisis ácida en frutos de maushan (*Vasconcellea weberbaueri* (Harms) V.M.Badillo) provenientes del distrito de San Miguel de Soloco, región Amazonas. *Aporte Santiaguino*, 3 (2), 177-184.
- Martín-Lara, M.A. (2008). *Caracterización y aplicación de biomasa residual a la eliminación de metales pesados* (Tesis de pregrado). Universidad de Granada, Granada, España.
- McCready, R. y H. Owens. 1952. Methods used at Western Regional Research Laboratory for extractions and analysis of pectin materials. *Analitic. Chem.* 24, 54-59. Recuperado de <https://archive.org/stream/methodsusedatwes340owen#page/6/mode/2up>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (17 de Marzo de 2015). Resolución 631. Bogotá D.C., Colombia.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo territorial. (20 de febrero de 2013). Resolución ISBN 958-97785-4-2. Segunda edición, Bogotá D.C., Colombia.
- Muñoz, F. (2011). *Extracción y caracterización de la pectina obtenida a partir del fruto de dos ecotipos de cocona (*solanum sessiliflorum*), en diferentes grados de madurez; a nivel de planta piloto*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá D.C., Colombia.
- Ortiz, N. (2013). *Recuperación y reutilización de cromo de las aguas residuales del proceso de curtido de curtiembres de San Benito (Bogotá), mediante un proceso sostenible y viable tecnológicamente* (Tesis de pregrado). Universidad de Manizales, Manizales, Colombia.
- Paredes, J., Hernández, R., y Cañizarez, A. (2015). Efecto del grado de madurez sobre las propiedades fisicoquímicas de pectinas extraídas de cascos de guayaba (*Psidium guajava* L.). *Idesia*, 33 (3), 35-41.

Pérez, L. (2012). *Estudio comparativo de la cáscara de toronja, limón y mandarina como bioadsorbentes de cromo trivalente y plomo divalente* (Propuesta de Investigación). Universidad Mexiquense del Bicentenario, Estado de México.

Perkin Elmer Inc. (1982). *Analytical Methods for Atomic Absorption Spectrophotometry*. Norwalk, Connecticut. U.S.A. Recuperado de http://www1.lasalle.edu/~prushan/Instrumental%20Analysis_files/AAPerkin%20Elmer%20guide%20to%20all!.pdf

Pinedo, S. (2012). *Impactos ambientales generados por la curtiembre D-Leyse en el Distrito del Porvenir, Provincia Trujillo* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria de la Selva. Perú.

Pinilla, D. (2014). *Precipitación de cromo y reutilización del agua de vertimientos de curtiembres de San Benito (Bogotá)* (Tesis de pregrado). Universidad Santo tomas, Bogotá D.C., Colombia.

Quiñones, E., Tejada, C., Ruiz, V., (2014) Remediación de aguas contaminadas con cromo utilizando diferentes biomateriales residuales. *Ciencia e ingeniería al día*, 9 (1), 25-42.

Ramírez, V. (2016) *Remoción de cromo en agua residual de curtiembres combinando biorremediación con Chlorella Sp, Scenedesmus Sp, y biomasa con cáscaras de naranjas y pectina cítrica*. (Tesis de maestría). Universidad Surcolombiana, Neiva, Colombia.

Rivadeneira, M., y Cáceres, P. (2009). *Extracción de pectina líquida a partir de cáscaras de maracuyá (Passiflora edulis) y su aplicación en el desarrollo de un producto de humedad intermedia* (Tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador.

Rodríguez, E (2010). Análisis comparativo entre Cholupa y Gulupa. Boletín informativo N° 0,1. Recuperado de

<http://www.huila.gov.co/documentos/A/ANALISIS%20COMPARATIVO%20CHOLUPA-GULUPA.pdf>

Rodríguez, K., y Román, A. (2004). *Extracción y evaluación de pectina a partir de la cáscara de naranja de las variedades citrus sinensis y citrus paradisi y propuesta de diseño de planta piloto para su producción*. (Tesis de pregrado). Universidad del Salvador, El Salvador.

Secretaría de agricultura y minería, Gobernación de Huila (s.f). Protección de denominación de origen de cholupa del Huila. Recuperado de <http://huila.gov.co/documentos/P/Protecci%C3%83%C2%B3n%20de%20denominaci%C3%83%C2%B3n%20de%20origen%20de%20cholupa%20del%20Huila.pdf>

Sistema Nacional de Información Ambiental [SINIA] (4 de diciembre de 2013). Guía para el control y prevención de la contaminación industrial. Recuperado de http://www.sinia.cl/1292/articles-39927_recurso_1.pdf

Soto, E., Lozano, T., Barbarín, J., y Alcalá, M. (2004). Remoción de metales pesados en aguas residuales mediante agente químicos. *Ingenierías*, 7 (23), 46-51.

Suárez, D., y Orozco, D. (2014). *Obtención y caracterización de pectina a partir de la cascarilla del Theobroma Cacao L., subproducto de una industria chocolatera nacional*. (Tesis de pregrado). Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, Colombia.

Tejada, C., Villabona, Á., y Garcés, L. (2015). Adsorción de Metales Pesados en Aguas Residuales usando Materiales de Origen Biológico. *Tecnologías Lógicas*, (18), 109-123.

Tovar, G. (2009). Denominación de origen “Cholupa del Huila”. Neiva, Huila.

Umaña, C. (2004). *Tratamiento de aguas residuales de la industria de curtiembre mediante un sistema de lodos activado a escala piloto* (Tesis de maestría). Universidad de la Frontera,

Temuco, Chile.

Universidad Nacional Autónoma de México [UNAM] (9 de mayo de 2011). *Fundamentos y técnicas de análisis de alimentos*. Laboratorio de Alimentos I, Facultad de química. Recuperado de http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/FUNDAMENTOSYTECNICASDEANALISISDEALIMENTOS_12286.pdf

Villanueva, C., y Tapia, N. (2005). Bioadsorción de Cu (II) por biomásas que contienen pectina. *Química Ingeniería*, 8 (1), 11-15.

APÉNDICE A

- **Datos curva de secado proceso de extracción pectina A**

Tiempo (min)	% Humedad	Tiempo (min)	% Humedad
0	87,0	360	26,4
30	85,9	390	21,8
60	84,5	420	17,0
90	82,5	450	17,0
120	81,0	480	15,2
150	78,0	510	15,2
180	74,9	540	13,3
210	70,1	570	11,4
240	62,6	600	9,2
270	54,5		
300	44,3		
330	36,1		

- **Datos curva de secado proceso de extracción pectina C**

Tiempo (min)	% Humedad	Tiempo (min)	% Humedad
0,0	93,0	855,0	79,8
15,0	92,7	915,0	77,2
30,0	92,6	975,0	74,1
45,0	92,4	1035,0	71,3
75,0	92,0	1095,0	65,8
105,0	91,8	1155,0	60,1
135,0	91,5	1215,0	55,1
165,0	91,2	1275,0	48,6
195,0	90,7	1335,0	40,7
225,0	90,3	1395,0	38,1
255,0	89,7	1455,0	34,3
315,0	89,1	1515,0	28,8
375,0	88,6	1575,0	25,1
435,0	87,2	1635,0	22,4
495,0	86,7	1695,0	20,9
555,0	86,0	1755,0	19,4
615,0	84,5	1815,0	17,9
675,0	83,8	1875,0	14,6
735,0	82,4	1935,0	14,6
795,0	80,8	1995,0	12,9
		2055,0	12,9
		2115,0	11,0

APÉNDICE B

Clasificación de la pectina basada en el contenido metoxilo

