

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y  
AGROINDUSTRIA**

**“ELABORACIÓN ARTESANAL DE HILO DE LA FIBRA DE FORMIO  
(*Phormium tenax*)”**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA  
QUÍMICA**

**DIANA CAROLINA LÓPEZ ROMERO**  
caro\_lopezr@hotmail.com

**DIRECTOR: ING. OMAR BONILLA**  
omar.bonilla@epn.edu.ec

**Quito, noviembre 2012**

© Escuela Politécnica Nacional (2012)  
Reservados todos los derechos de reproducción

## **DECLARACIÓN**

Yo, Diana Carolina López Romero declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

---

Diana Carolina López Romero

## **CERTIFICACIÓN**

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Diana Carolina López Romero bajo mi supervisión.

---

Ing. Omar Bonilla  
**DIRECTOR DE PROYECTO**

## **AUSPICIO**

La presente investigación contó con el auspicio financiero del proyecto No. PIS 2009-025 “Extracción y caracterización de la fibra de la planta denominada lengua de suegra” que se ejecutó en el Centro Textil Politécnico.

## **DEDICATORIA**

A Dios y a mis padres José López y Cecilia Romero, por ser los pilares fundamentales de mi vida, que con su amor, esfuerzo, dedicación, comprensión y apoyo, me hicieron crecer como persona y a quienes dedico este logro.

A mis hermanos Gaby y Pepe, por brindarme su cariño y amistad. A mi tía Beatriz por su apoyo, por sacarme de la cotidianidad y permitirme apreciar las bellezas que nuestro país nos ofrece.

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios, Jesucristo y Santa María que con sus divinas enseñanzas, inculcadas a nuestros padres, nos forjan como personas dentro del camino ético y moral.

A mis padres y hermanos por estar a mi lado en todo momento, por brindarme sus consejos y apoyo, gracias por haber contribuido en la realización de este logro.

A mi tía Beatriz, quien siempre me da ánimos para seguir adelante y por permitirme conocer bellezas más allá de lo que se está acostumbrado a ver, gracias por concederme conocer mundos nuevos a través de las muchas travesías por los diferentes paisajes de nuestro país.

A mis abuelitos Pedro, Rosa, José y Karlota por sus sabios consejos y por estar siempre al pendiente de toda la familia.

Al Ing. Omar Bonilla y la Ing. Hilda Trujillo, por haberme guiado en el desarrollo de este trabajo, a la Ing. Maribel Luna por el importante apoyo en las etapas finales de este proyecto.

A mis amig@s por su amistad y por compartir todos los momentos que nos hicieron crecer como personas y ahora como profesionales, por las muchas horas de estudio y de esfuerzo que ahora tienen su recompensa con la realización de esta meta.

A todas las personas que contribuyeron en la culminación de este logro, gracias por todo su apoyo.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

	<b>PÁGINA</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>xiii</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>xv</b>
<b>1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>1</b>
1.1 Fibras textiles	1
1.1.1 Clasificación de las fibras textiles	1
1.1.1.1 Fibras Naturales	1
1.1.1.2 Fibras Artificiales	2
1.1.1.3 Fibras Sintéticas	2
1.1.2 Fibras celulósicas	3
1.1.2.1 Celulosa	4
1.1.2.2 Lignina	5
1.1.2.3 Hemicelulosas	7
1.1.2.4 Pectina	8
1.1.2.5 Grasas, ceras y resinas	8
1.1.2.6 Cenizas	9
1.2 El formio	9
1.2.1 Labores culturales	11
1.2.2 Extracción y características de las fibras	12
1.3 Descrude, blanqueo y suavizado de fibras celulósicas	14
1.3.1 Generalidades	14
1.3.2 Descrude	15
1.3.3 Blanqueo	18
1.3.3.1 Blanqueo con hipoclorito de sodio	19
1.3.3.2 Blanqueo con clorito de sodio	21
1.3.3.3 Blanqueo con peróxido de hidrógeno	22
1.3.4 Suavizado	25
1.3.4.1 Suavizado químico	25
1.3.4.2 Suavizado enzimático	28
1.3.4.3 Suavizantes textiles	31
1.4 Hilado y tejido artesanal	32
1.4.1 Hilo	32
1.4.2 Título	34
1.4.3 Propiedades mecánicas de los hilos	35



1.4.4	Hilado artesanal	35
1.4.5	Tejido artesanal	39
<b>2.</b>	<b>PARTE EXPERIMENTAL</b>	<b>43</b>
2.1	Objetivos	44
2.1.1	Objetivo general	44
2.1.2	Objetivos específicos	44
2.2	Materiales y reactivos	44
2.2.1	Equipos	46
2.2.2	Esquemas de la fase experimental	48
2.3	Determinación de las mejores condiciones de descrude con hidróxido de sodio	51
2.4	Determinación de las mejores condiciones de los procesos de blanqueo y suavizado seleccionados	58
2.4.1	Blanqueo	58
2.4.1.1	Blanqueo con Hipoclorito de Sodio	59
2.4.1.2	Blanqueo con Peróxido de Hidrógeno	61
2.4.1.3	Selección del proceso de blanqueo y determinación de sus mejores condiciones	62
2.4.2	Suavizado	63
2.4.2.1	Suavizado con sulfito de sodio-hidróxido de sodio	64
2.4.2.2	Suavizado con celulasa	66
2.4.2.3	Selección del proceso de suavizado y determinación de sus mejores condiciones	68
2.5	Hilado artesanal y caracterización mecánica del hilo obtenido y evaluación de su capacidad de tisaje	69
2.5.1	Caracterización mecánica del hilo obtenido	72
2.5.2	Evaluación de la capacidad de tisaje del hilo obtenido	73
<b>3.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>75</b>
3.1	Determinación de las mejores condiciones de descrude con hidróxido de sodio	75
3.2	Determinación de las mejores condiciones de los procesos de blanqueo y suavizado seleccionados	81

3.2.1	Blanqueo	81
3.2.1.1	Blanqueo con hipoclorito de sodio	81
3.2.1.2	Blanqueo con Peróxido de Hidrógeno	86
3.2.1.3	Determinación de las condiciones de blanqueo adecuadas	92
3.2.2	Suavizado	96
3.2.2.1	Suavizado con sulfito de sodio-hidróxido de sodio	97
3.2.2.2	Suavizado con enzima celulasa	108
3.2.2.3	Selección del método de suavizado	111
3.2.2.4	Determinación de las mejores condiciones del método de suavizado seleccionado	112
3.2.2.5	Determinación del título y de la tenacidad de la fibra cruda y de la fibra apta para el hilado	112
3.3	Hilado artesanal y caracterización mecánica del hilo obtenido y evaluación de su capacidad de tisaje	115
3.3.1	Caracterización mecánica del hilo artesanal de formio	119
3.3.1.1	Determinación del título	119
3.3.1.2	Determinación de la tenacidad	120
3.3.1.3	Determinación de la elongación a la ruptura	122
3.3.2	Evaluación de la capacidad de tisaje del hilo obtenido	123
<b>4.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>125</b>
4.1	Conclusiones	125
4.2	Recomendaciones	127
	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>128</b>
	<b>ANEXOS</b>	<b>136</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

		<b>PÁGINA</b>
<b>Tabla 1.1.</b>	Composición química de la fibra de formio	4
<b>Tabla 1.2.</b>	Parámetros para el descruce de algodón	18
<b>Tabla 1.3.</b>	Parámetros de blanqueo de abacá con hipoclorito de sodio	21
<b>Tabla 1.4.</b>	Parámetros de blanqueo de algodón con peróxido de hidrógeno	24
<b>Tabla 1.5.</b>	Parámetros del suavizado de abacá con sulfito de sodio/hidróxido de sodio	28
<b>Tabla 1.6.</b>	Parámetros del suavizado de abacá con celulasa ácida	31
<b>Tabla 2.1.</b>	Reactivos empleados en el descruce de la fibra de formio	45
<b>Tabla 2.2.</b>	Reactivos empleados en el blanqueo de la fibra de formio	45
<b>Tabla 2.3.</b>	Reactivos empleados en el suavizado de la fibra de formio	46
<b>Tabla 2.4.</b>	Variación de los parámetros de descruce con hidróxido de sodio a temperatura ambiente	56
<b>Tabla 2.5.</b>	Variación de los parámetros de descruce con hidróxido de sodio a temperatura de ebullición	56
<b>Tabla 2.6.</b>	Escala cualitativa para la evaluación del color de las fibras descruceadas	57
<b>Tabla 2.7.</b>	Escala cualitativa para la evaluación del desprendimiento de fibrillas (desgaste) luego de los procesos de descruce, blanqueo y suavizado	58
<b>Tabla 2.8.</b>	Escala cualitativa para la evaluación de la suavidad al tacto de las fibras luego de los procesos de descruce y blanqueo	58
<b>Tabla 2.9.</b>	Variación de los parámetros en el blanqueo de fibra con hipoclorito de sodio a temperatura ambiente	60
<b>Tabla 2.10.</b>	Variación de los parámetros en el blanqueo de fibra con peróxido de hidrógeno a temperatura de ebullición	61
<b>Tabla 2.11.</b>	Escala cualitativa para evaluación del tono de blanco de las fibras	62

<b>Tabla 2.12.</b>	Suavizado con sulfito de sodio al 1 %, a distintas concentraciones de hidróxido de sodio, diferentes tiempos y temperatura de 60 °C	65
<b>Tabla 2.13.</b>	Suavizado con sulfito de sodio al 1 %, a distintas concentraciones de hidróxido de sodio, diferentes tiempos y temperatura de 75 °C	65
<b>Tabla 2.14.</b>	Suavizado con sulfito de sodio al 1 %, a distintas concentraciones de hidróxido de sodio, diferentes tiempos y temperatura de ebullición	66
<b>Tabla 2.15.</b>	Variación de los parámetros del proceso de suavizado con celulasa ácida a 55 °C	68
<b>Tabla 2.16.</b>	Escala cualitativa para evaluación de la suavidad de las fibras	69
<b>Tabla 2.17.</b>	Escala cualitativa para evaluación de la facilidad de cohesión entre las fibras	69
<b>Tabla 3.1.</b>	Resultados de descrude a temperatura ambiente	76
<b>Tabla 3.2.</b>	Resultados del descrude a temperatura de ebullición	77
<b>Tabla 3.3.</b>	Condiciones de descrude adecuadas con hidróxido de sodio	79
<b>Tabla 3.4.</b>	Resultados del blanqueo con hipoclorito de sodio a diferentes tiempos y temperatura ambiente	82
<b>Tabla 3.5.</b>	Condiciones de blanqueo adecuadas con hipoclorito de sodio	86
<b>Tabla 3.6.</b>	Resultados del blanqueo con peróxido de hidrógeno al 35% a diferentes tiempos y temperatura de ebullición	87
<b>Tabla 3.7.</b>	Resultados del blanqueo con peróxido de hidrógeno al 50 % a diferentes tiempos y temperatura de ebullición	91
<b>Tabla 3.8.</b>	Tenacidad media de las fibras descrudada a las condiciones adecuadas y blanqueadas	94
<b>Tabla 3.9.</b>	Condiciones de blanqueo adecuadas con peróxido de hidrógeno	95
<b>Tabla 3.10.</b>	Resultados del suavizado con sulfito de sodio al 1 % a 60 °C a diferentes concentraciones de hidróxido de sodio y tiempos	98
<b>Tabla 3.11.</b>	Resultados del suavizado con sulfito de sodio al 1 % a 75 °C a diferentes concentraciones de hidróxido de sodio y tiempos	101

<b>Tabla 3.12.</b>	Resultados del suavizado con sulfito de sodio al 1 % a temperatura de ebullición a diferentes concentraciones de hidróxido de sodio y tiempos	105
<b>Tabla 3.13.</b>	Condiciones de suavizado adecuadas con sulfito de sodio 1 %	107
<b>Tabla 3.14.</b>	Resultados del suavizado con celulasa ácida a temperatura de 55 °C	109
<b>Tabla 3.15.</b>	Condiciones de suavizado adecuadas con celulasa	112
<b>Tabla 3.16.</b>	Título promedio de las fibras de formio cruda y apta para hilar	113
<b>Tabla 3.17.</b>	Tenacidad promedio de las fibras de formio cruda y apta para hilar	114
<b>Tabla 3.18.</b>	Título promedio de los hilos de formio y cabuya	120
<b>Tabla 3.19.</b>	Tenacidad promedio de los hilos de formio y cabuya	121
<b>Tabla 3.20.</b>	Elongación promedio a la ruptura de los hilos de formio y cabuya	122
<b>Tabla AI.1.</b>	Condiciones de aplicación del suavizante	140
<b>Tabla AII.1.</b>	Título y tenacidad de la fibra de formio sin ningún tratamiento	141
<b>Tabla AII.2.</b>	Propiedades mecánicas de la fibra de formio descrudada	142
<b>Tabla AII.3.</b>	Título y tenacidad de la fibra de formio blanqueada con peróxido de hidrógeno al 35 %, 3mL/L durante 60 min a temperatura de ebullición	143
<b>Tabla AII.4.</b>	Título y tenacidad de la fibra de formio blanqueada con peróxido de hidrógeno al 35 %, 5mL/L durante 60 min a temperatura de ebullición	144
<b>Tabla AII.5.</b>	Título y tenacidad de la fibra de formio blanqueada con peróxido de hidrógeno al 50 %, 3mL/L durante 30 min a temperatura de ebullición	145
<b>Tabla AII.6.</b>	Título y tenacidad de la fibra de formio blanqueada con peróxido de hidrógeno al 50 %, 5mL/L durante 30 min a temperatura de ebullición	146
<b>Tabla AII.7.</b>	Título y tenacidad de la fibra de formio blanqueada con peróxido de hidrógeno al 50 %, 3mL/L durante 60 min a temperatura de ebullición	147

<b>Tabla AII.8.</b>	Título y tenacidad de la fibra de formio blanqueada con peróxido de hidrógeno al 50 %, 5mL/L durante 60 min a temperatura de ebullición	148
<b>Tabla AII.9.</b>	Título y tenacidad de la fibra de formio apta para hilar	149
<b>Tabla AIII.1.</b>	Resumen para el análisis de varianza de la tenacidad de la fibra descrudada y de las fibras blanqueadas	150
<b>Tabla AIII.2.</b>	Análisis de varianza de la tenacidad de la fibra descrudada y de las fibras blanqueadas	150
<b>Tabla AIII.3.</b>	Análisis LSD de la tenacidad de la fibra descrudada y de las fibras blanqueadas	151
<b>Tabla AIV.1.</b>	Resumen para el análisis de varianza del título de la fibra cruda y de la fibra apta para hilar	152
<b>Tabla AIV.2.</b>	Análisis de varianza del título de la fibra cruda y de la fibra apta para hilar	152
<b>Tabla AIV.3.</b>	Análisis LSD del título de la fibra cruda y de la fibra apta para hilar	152
<b>Tabla AIV.4.</b>	Resumen para el análisis de varianza de la tenacidad de la fibra cruda y de la fibra apta para hilar	152
<b>Tabla AIV.5.</b>	Análisis de varianza de la tenacidad de la fibra cruda y de la fibra apta para hilar	153
<b>Tabla AIV.6.</b>	Análisis LSD de la tenacidad de la fibra cruda y de la fibra apta para hilar	153
<b>Tabla AV.1.</b>	Propiedades mecánicas del hilo de formio	154
<b>Tabla AV.2.</b>	Propiedades mecánicas del hilo de cabuya	155
<b>Tabla AVI.1.</b>	Resumen para el análisis de varianza del título del hilo de formio y cabuya	156
<b>Tabla AVI.2.</b>	Análisis de varianza del título del hilo de formio y cabuya	156
<b>Tabla AVI.3.</b>	Análisis LSD del título del hilo de formio y cabuya	156
<b>Tabla AVI.4.</b>	Resumen para el análisis de varianza de la tenacidad del hilo de formio y cabuya	156
<b>Tabla AVI.5.</b>	Análisis de varianza de la tenacidad del hilo de formio y cabuya	157

<b>Tabla AVI.6.</b>	Análisis LSD de la tenacidad del hilo de formio y cabuya	157
<b>Tabla AVI.7.</b>	Resumen para el análisis de varianza de la elongación a la ruptura del hilo de formio y cabuya	157
<b>Tabla AVI.8.</b>	Análisis de varianza de la elongación a la ruptura del hilo de formio y cabuya	157
<b>Tabla AVI.9.</b>	Análisis LSD de la elongación a la ruptura del hilo de formio y cabuya	157
<b>Tabla AVII.1.</b>	Resultados de los ensayos de torsión sobre el hilo de formio con los métodos directo y de destorsión-retorsión	158

## ÍNDICE DE FIGURAS

		PÁGINA
<b>Figura 1.1.</b>	Molécula de celobiosa en la cadena de celulosa	4
<b>Figura 1.2.</b>	Estructura modelo de la lignina de madera suave	6
<b>Figura 1.3.</b>	Planta de formio	10
<b>Figura 1.4.</b>	Hoja de formio con las partes que serán removidas	13
<b>Figura 1.5.</b>	Mecanismo de remoción de la suciedad por el detergente	17
<b>Figura 1.6.</b>	Hilos (A) simple, (B) de dos cabos, (C) tipo cable	33
<b>Figura 1.7.</b>	Torsión del hilo (A) en S (B) en Z	34
<b>Figura 1.8.</b>	(A) agramadra y (B) escarmenadora	37
<b>Figura 1.9.</b>	Copo de fibras a ser hilados en la rueca	38
<b>Figura 1.10.</b>	Obtención de la madeja de hilo mediante (A) el demore y (B) la devanadera	39
<b>Figura 1.11.</b>	Calada formada por los hilos de urdimbre	40
<b>Figura 1.12.</b>	Urdidor artesanal en el que se colocan los hilos de urdimbre antes de pasarlos al telar	41
<b>Figura 1.13.</b>	Telar horizontal plano con sus partes	42
<b>Figura 2.1.</b>	Diagrama de flujo de preparación de las fibras de formio antes de ser procesadas	48
<b>Figura 2.2.</b>	Diagrama de flujo del proceso de descruce alcalino de las fibras de formio	49
<b>Figura 2.3.</b>	Diagrama de flujo del proceso de blanqueo de las fibras de formio	49
<b>Figura 2.4.</b>	Diagrama de flujo del proceso de suavizado de las fibras de formio	50
<b>Figura 2.5.</b>	Diagrama de flujo del proceso de hilado	50
<b>Figura 2.6.</b>	Diagrama de flujo de la caracterización mecánica del hilo de formio y cabuya	51



<b>Figura 2.7.</b>	Hoja de formio con las partes que fueron removidas	52
<b>Figura 2.8.</b>	Hoja de formio sin bordes ni quilla	53
<b>Figura 2.9.</b>	Apariencia de las fibras de formio luego del descortezado	54
<b>Figura 2.10.</b>	Apariencia de las fibras de formio peinadas	54
<b>Figura 2.11.</b>	Fibra de formio en crucero	55
<b>Figura 2.12.</b>	Carda mecánica usada en la formación del velo de fibra corta de formio	70
<b>Figura 2.13.</b>	Hilado de la fibra de formio en la rueca eléctrica	71
<b>Figura 2.14.</b>	Telar manual artesanal usado para elaborar un tejido de ligamento tafetán 1-1	74
<b>Figura 3.1.</b>	Fibras de formio (A) sin descruar, (B) descruadas a las condiciones adecuadas	80
<b>Figura 3.2.</b>	Resultados del blanqueo con hipoclorito de sodio con contenido del 5 % de cloro activo	85
<b>Figura 3.3.</b>	Fibras de formio (A) descruadas con 2 g/L de NaOH a temperatura de ebullición, (B) descruadas a las condiciones descritas en (A) y blanqueadas con 8 g/L de hipoclorito de sodio por 60 min	86
<b>Figura 3.4.</b>	Resultados del blanqueo con peróxido de hidrógeno al 35 %	89
<b>Figura 3.5.</b>	Resultados del blanqueo con peróxido de hidrógeno al 35 % a concentraciones de 3 mL/L y 5 mL/L	90
<b>Figura 3.6.</b>	Resultados del blanqueo con peróxido de hidrógeno al 50 %	91
<b>Figura 3.7.</b>	Diagrama de caja y bigotes de la tenacidad de las fibras de formio descruada y blanqueadas a diferentes condiciones	93
<b>Figura 3.8.</b>	Comparación de las fibras de formio (A) descruadas con 2 g/L de NaOH y temperatura de ebullición y (B) descruadas a las condiciones descritas en (A) y blanqueadas con H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 50 %, 3 mL/L por 30 min	95
<b>Figura 3.9.</b>	Resultados del suavizado con sulfito de sodio-hidróxido de sodio a 60 °C	100
<b>Figura 3.10.</b>	Resultados del suavizado con sulfito de sodio-hidróxido de sodio a 75 °C	103

<b>Figura 3.11.</b>	Resultados del suavizado con sulfito de sodio-hidróxido de sodio a temperatura de ebullición	106
<b>Figura 3.12.</b>	Resultados del suavizado con celulasa ácida	110
<b>Figura 3.13.</b>	Fibras de formio (A) suavizadas con celulasa, (B) suavizadas con sulfito de sodio-hidróxido de sodio	111
<b>Figura 3.14.</b>	Diagrama de caja y bigotes del título de las fibras de formio cruda y apta para hilar	113
<b>Figura 3.15.</b>	Diagrama de caja y bigotes de la tenacidad de las fibras de formio cruda y apta para hilar	114
<b>Figura 3.16.</b>	Fibras de formio (A) fibra cruda (100X), (B) fibra apta para hilar (100X)	115
<b>Figura 3.17.</b>	Hilo de formio (A) elaborado con fibra larga, (B) elaborado con fibra corta	117
<b>Figura 3.18.</b>	Hilo de formio elaborado con fibra larga	118
<b>Figura 3.19.</b>	Diagrama de caja y bigotes del título de los hilos de formio y cabuya	120
<b>Figura 3.20.</b>	Diagrama de caja y bigotes de la tenacidad de los hilos de formio y cabuya	121
<b>Figura 3.21.</b>	Diagrama de caja y bigotes de la elongación a la ruptura de los hilos de formio y cabuya	123
<b>Figura 3.22.</b>	Tejido de ligamento tafetán plano 1-1 formado por urdimbre de algodón y trama de hilo de formio	124

## ÍNDICE DE ANEXOS

	PÁGINA
<b>ANEXO I</b>	
Fichas técnicas auxiliares textiles	137
<b>ANEXO II</b>	
Resultados del título y de los ensayos de tracción realizados en la fibra de formio ( <i>Phormium tenax</i> )	141
<b>ANEXO III</b>	
Análisis estadístico de la tenacidad de las fibras de formio descrudada y blanqueadas	150
<b>ANEXO IV</b>	
Análisis estadístico del título y la tenacidad de las fibras de formio sin ningún tratamiento y la apta para hilar	152
<b>ANEXO V</b>	
Propiedades mecánicas del hilo de formio y cabuya	154
<b>ANEXO VI</b>	
Análisis estadístico de las propiedades mecánicas del hilo de formio y cabuya	156
<b>ANEXO VII</b>	
Torsiones por metro del hilo de formio con los métodos directo y de destorsión-retosión	158

## RESUMEN

Para elaborar hilo artesanal a partir de las fibras extraídas de las hojas de formio (*Phormium tenax*), se extrajeron las fibras contenidas en las hojas con una descortezadora de cabuya adaptada para este fin, las cuales se acondicionaron para los procesos de descruce, blanqueo y suavizado.

El descruce fue realizado a temperatura de ebullición de Quito y a dos diferentes concentraciones de hidróxido de sodio. Para determinar las mejores condiciones del proceso de descruce se evaluó la apariencia (color) de las fibras mediante una escala cualitativa, en la que se usó como referencia a la fibra de formio extraída mecánicamente. Las mejores condiciones correspondieron al proceso realizado con 2 g/L de hidróxido de sodio, 1 g/L de detergente y humectante en un tiempo de 30 min y razón licor (peso de material/volumen de solución) de 1:25. Las fibras descruadas bajo estas condiciones fueron las utilizadas posteriormente en los ensayos de blanqueo con hipoclorito de sodio y peróxido de hidrógeno. De estos dos procesos se escogió aquel en el que se obtuvieron las fibras más blancas; con respecto al color de la fibra descruada. El proceso con el que se consiguieron fibras con mayor grado de blancura fue el realizado con 50 % en peso de peróxido de hidrógeno, 3 mL/L, 0,75 g/L de humectante, 0,5 g/L de estabilizador, a temperatura de ebullición, razón licor de 1:25 y tiempo de 30 min.

Las fibras blanqueadas a las condiciones anteriores fueron utilizadas en los tratamientos de suavizado con sulfito de sodio-hidróxido de sodio y suavizado con celulasa ácida. Para seleccionar el mejor resultado del proceso de suavizado se usó una escala cualitativa de suavidad al tacto para lo cual se tomó como referencia la fibra blanqueada con el proceso que presentó los mejores resultados. El proceso de suavizado seleccionado fue el realizado con 6 % de celulasa ácida, tiempo de 60 min, razón licor 1:25 y temperatura de 55 °C.

Una vez encontradas las condiciones adecuadas de procesamiento de la fibra, se procedió a obtener hilo artesanal, en el que se evaluaron las características mecánicas mediante la norma ASTM D 2256-97, las cuales se compararon con un

hilo formado con 100 % cabuya. Los resultados obtenidos para el hilo de formio fueron: título de 790,44 Tex, tenacidad de 15,57 cN/Tex, elongación de 8,28 % y 97 torsiones por metro (tpm) en la dirección S, mientras que para el hilo de cabuya el título fue de 532,85 Tex, tenacidad de 21,12 cN/Tex y elongación de 7,72 %.

El hilo de formio obtenido se sometió a un proceso de tisaje para evaluar la facilidad de ser tejido, obteniéndose un tejido de ligamento tafetán plano 1-1, formado por 6 hilos/cm de hilo de formio como trama y 7 hilos/cm de hilo de algodón como urdimbre, el cual se caracterizó por su uniformidad, sin la presencia de nudos en la malla.

## INTRODUCCIÓN

La producción de fibras naturales constituye una actividad económica de gran importancia, debido a que se extraen alrededor de 35 millones de toneladas cada año en todo el mundo y por lo tanto, es una fuente importante de trabajo para millones de personas. Sin embargo, desde la producción de fibras sintéticas el mercado de estas fibras se ha debilitado considerablemente, esto ha ocasionado la búsqueda de nuevos mercados para las fibras naturales como refuerzos en materiales compuestos en la industria del automóvil y de la construcción, así como el desarrollo de materiales biodegradables, para de esta forma lograr además disminuir el impacto que tienen la elaboración y posterior desecho de las fibras sintéticas sobre el medio ambiente (FAO, 2009).

Para la elaboración de hilados y tejidos se utilizan al algodón y a la lana como las únicas fibras naturales, dentro del consumo nacional. La producción local no logra abastecer la demanda que se tiene de ellas, ya que, en el caso del algodón apenas el 10 % de dicha demanda es abastecida por la producción nacional. Además los fenómenos climáticos, los bajos rendimientos de las cosechas y la inestabilidad de los precios internacionales, han dado origen a una gran importación de fibras naturales (MIPRO y BM, 2000, p. 2). Es por ello que se busca el desarrollo, no solo de las fibras tradicionales como el algodón y la lana, sino de otras, como las obtenidas de la planta de formio, la cual pertenece a la familia Agavaceae, originaria de Nueva Zelanda, que fue muy utilizada por los habitantes de la zona debido a su lustrosidad, color y longitud para la elaboración de productos textiles como bolsos, cuerdas, y fue considerada por un tiempo la fuente de ingresos más importante de su país de origen (Warwick, 2000 p. 469; Brescia, 1969, p. 248).

Con la elaboración de este proyecto se busca dar a conocer al formio como una fibra natural diferente a las tradicionales, con el fin de usarla en el campo textil artesanal en cordelería, tapicería, mantelería como una fibra de buena calidad, a la cual sea posible hilar y obtener de ella un tejido uniforme, sin zonas muy ajustadas o sueltas.

# **1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

## **1.1 FIBRAS TEXTILES**

Son las unidades elementales de las que está compuesto todo textil. Son elementos cohesionables cuya longitud es muy superior a su diámetro, que unidas constituyen un hilo, los cuales forman tejidos y telas (Hollen, 2002, p. 14).

Las características básicas que debe tener una fibra textil son: durabilidad, disponibilidad, mantenimiento, suministro constante a bajo costo, flexibilidad, finura, gran longitud referida a su diámetro con una relación longitud/diámetro generalmente de 500 a 1 000 veces, afinidad tintórea y, resistencia al calor, a la luz, a los reactivos químicos, a la acción de agentes atmosféricos, a las bacterias. Además debe poseer suficiente elasticidad, longitud y cohesión para hilarla y formar hilos (De Perinat, 2007; Hollen, 2002, p. 14; Rivera, 2005).

Todas las fibras naturales, a excepción de la seda, se encuentran como segmentos de longitud definida medidos en pulgadas o centímetros y se los llama fibras discontinuas o cortas. Químicamente se puede fabricar fibras continuas, de longitud indefinida, llamadas filamentos continuos, los cuales pueden ser cortados para parecerse a las fibras naturales (fibra cortada) (De Perinat, 2007).

### **1.1.1 CLASIFICACIÓN DE LAS FIBRAS TEXTILES**

Las fibras textiles pueden dividirse en tres clases: fibras naturales, fibras artificiales y fibras sintéticas (Beltramone, Di Sanzo, Ferreyra y Mondaca, 2012).

#### **1.1.1.1 Fibras Naturales**

Son aquellas que se obtienen de la naturaleza y se dividen en fibras animales, vegetales y minerales.

*Fibras animales:* Están constituidas por proteínas resistentes a la mayoría de los ácidos orgánicos, a ciertos ácidos minerales como el ácido sulfúrico a condiciones determinadas. Pero, las bases poco agresivas pueden dañarlas y los álcalis fuertes como el hidróxido de sodio pueden disolverlas completamente. También los blanqueadores a base de cloro pueden contribuir al deterioro de la fibra. Ejemplo: seda, lana de ovejas, pelos de alpaca, cabra, vicuña, angora, camello, caballo, conejo, etc. (Ecured, 2012; Marsh, 1958, p. 6).

*Fibras vegetales:* Las fibras vegetales están constituidas principalmente de polímeros de celulosa, son resistentes a los álcalis y a la mayoría de ácidos orgánicos, pero los ácidos minerales fuertes las degradan y solubilizan. El mal uso de los blanqueadores también puede debilitarlas o destruirlas. Ejemplo: algodón, yute, abacá, henequén, cáñamo, ramio, etc. (Ecured, 2012; Marsh, 1958, p. 6).

*Fibras de origen mineral:* Son generalmente inorgánicas, la fibra más conocida es el asbesto que es famosa por su resistencia al calor al igual que las fibras provenientes de metales. Ejemplo: amianto, fibra de vidrio, etc. (Beltramone et al., 2012; Marsh 1958, p. 5).

#### **1.1.1.2 Fibras Artificiales**

Para su creación se utiliza al menos un componente natural y poseen propiedades parecidas a las de las fibras naturales. Ejemplo: proteicas (caseína, lanital), celulósicas (rayón viscosa), minerales (fibra de vidrio), etc. (Beltramone et al., 2012).

#### **1.1.1.3 Fibras Sintéticas**

No utilizan para su elaboración componentes naturales, son completamente químicos, es por esto que, no dependen de cosechas y por ende su producción es continua, además sus propiedades pueden ser modificadas como la resistencia o



el brillo, pero presentan algunas desventajas como la absorción de agua. Ejemplo: poliamida, fibras poliéster, fibras acrílicas, etc (Beltramone et al., 2012; Marsh 1958, pp. 7-8).

### **1.1.2 FIBRAS CELULÓSICAS**

La celulosa es el principal componente de las fibras textiles de origen vegetal, las cuales son obtenidas de distintas partes de la planta de donde las fibras pueden extraerse fácilmente de los materiales que las rodean (Coarma, 2008; Morán, 2008, p. 1).

Las fibras vegetales están conformadas principalmente de celulosa, lignina, hemicelulosa, pectina, cenizas, grasas y ceras, cuyos componentes principales que caracterizan sus propiedades físicas son la celulosa, hemicelulosa y lignina y, por lo tanto, el conocer la cantidad de cada componente ayudará a determinar las propiedades y los usos que se le den a las fibras (Morán, 2008, p. 1; Sullcahuamán, Fuentes, Ramos, Pastor, Castro y Zavaleta, 2007, p. 3).

En función del tipo y origen de las fibras, su composición química varía. Usualmente contienen cantidades de celulosa y hemicelulosa entre el 60 y 80 %, de lignina entre el 5 y 20 %, hasta 5 % de pectina y bajos porcentajes de cera (Morán, 2008, p. 1).

Las fibras naturales microestructuralmente están formadas por microfibrillas de celulosa entrelazadas entre sí por puentes hidrógeno, lignina y pectina. Estas microfibrillas están contenidas en una matriz de lignina e insertadas en una red formada por hemicelulosa y pectina, además, están formadas por regiones de celulosa amorfa y cristalina, siendo estas últimas las principales encargadas de las propiedades mecánicas de las fibras naturales (Morán, 2008, pp. 1-2).

En la Tabla 1.1 se muestra la composición química de la fibra de formio:

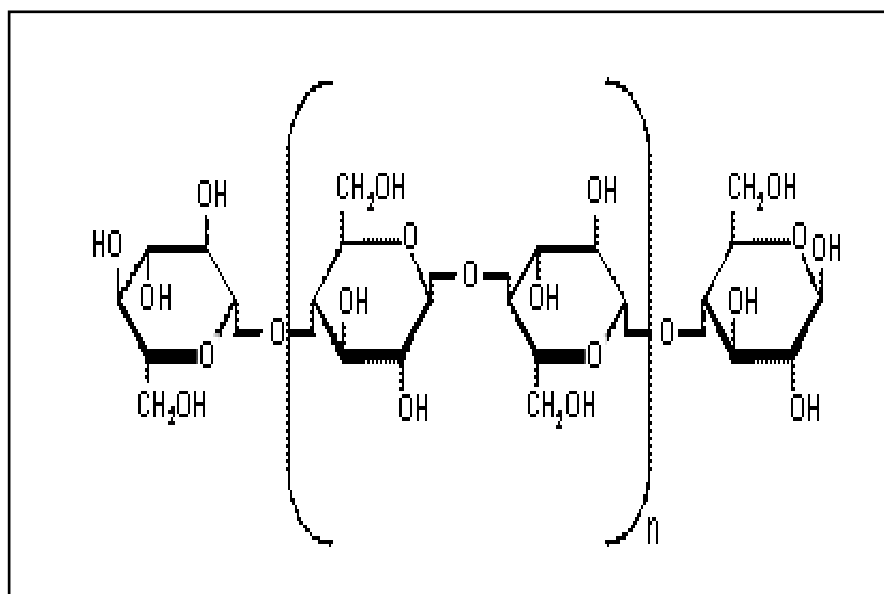
**Tabla 1.1.** Composición química de la fibra de formio

Componente	%
Celulosa	61,58
Lignina	11,59
Pentosanos	15,53
Ceras, grasas y resinas	5,05
Cenizas	4,09
Humedad	9,28

(Guerra, 2011, pp. 107-114)

### 1.1.2.1 Celulosa

La celulosa es un polisacárido lineal de cadenas largas sin ramificaciones, componente importante de la pared celular de las fibras vegetales, cuya unidad básica es la  $\beta$  glucosa, que se encuentra de 50 hasta 5 000 o más unidades, enlazadas sucesivamente a través de enlaces glucosídicos  $\beta$  1-4, para conformar moléculas de celobiosa que se repiten a lo largo del polímero de celulosa (García, 1993, p. 11; Ott, Spurlin y Grafflin, 1963, p. 8). En la Figura 1.1 se muestra la estructura de la celulosa.



**Figura 1.1.** Molécula de celobiosa en la cadena de celulosa  
(Del Río y Gutiérrez, 2009)

Las cadenas de celulosa se unen en filamentos largos y delgados llamados microfibrillas, constituidas por moléculas de celulosa altamente ordenadas, denominadas zonas cristalinas, y por moléculas de celulosa poco ordenadas y con una orientación menor denominadas zonas amorfas (Casey, 1990, pp. 37, 41).

Las zonas cristalinas son difíciles de penetrar por disolventes y reactivos y le suministran rigidez, protección y resistencia mecánica a la planta, mientras que las zonas amorfas son más accesibles y susceptibles a las reacciones químicas e influyen también el comportamiento químico y físico de las fibras celulósicas (Casey, 1990, p. 37; García, 1993, pp. 11-12; Ott et al., 1963, p. 9).

La celulosa es hidrofílica por la existencia de grupos hidroxilo en las cadenas de celulosa, en donde las fibras se hidratan y se hinchan al absorber moléculas de agua, cuya absorción es mayor en las zonas amorfas que en las cristalinas, debido a que en estas zonas existe una menor ordenación y orientación lo que facilita procesos acuosos de acabado (Casey, 1990, p. 41; Turner, 2009).

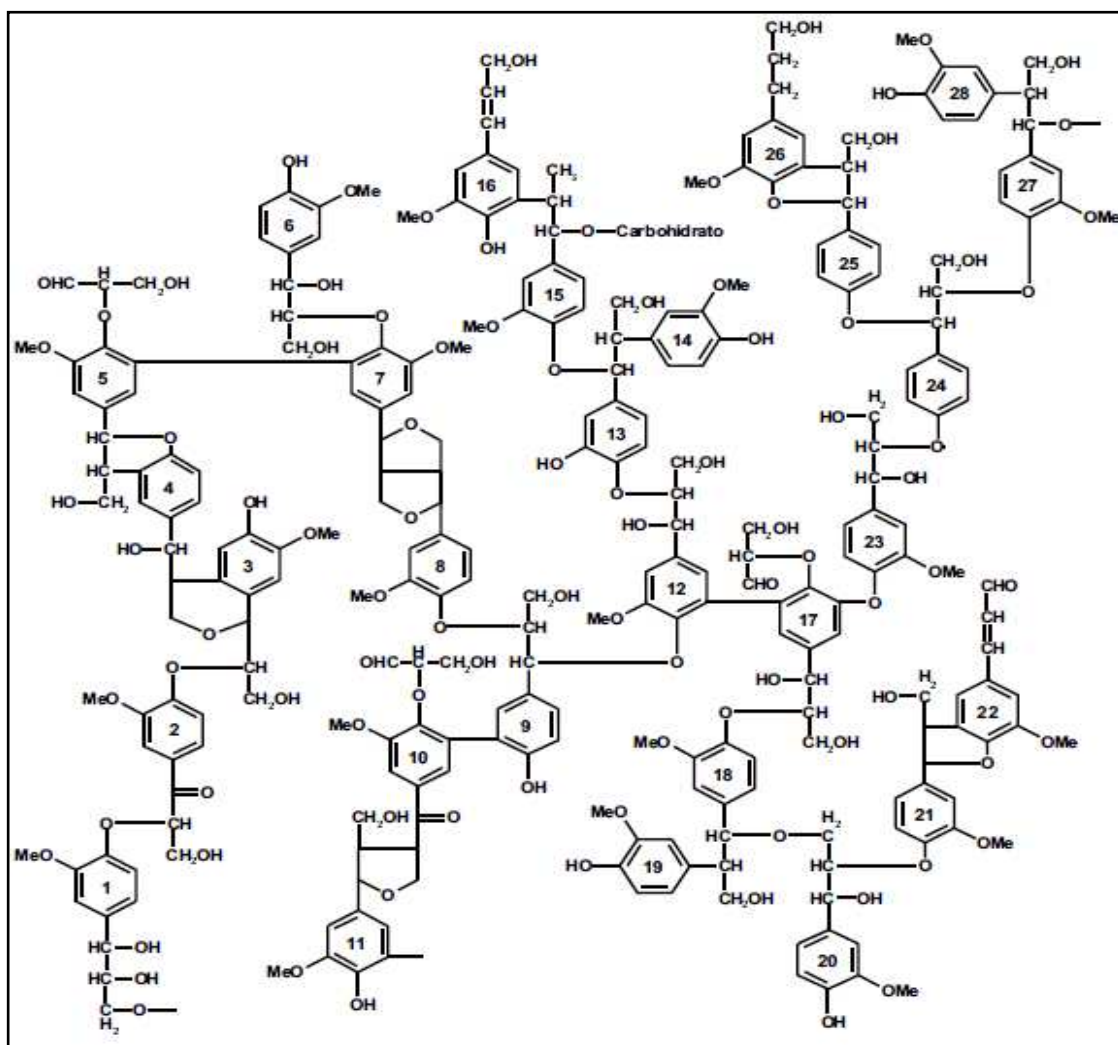
La celulosa se disuelve en algunas soluciones alcalinas concentradas a temperaturas superiores a los 160 °C, y se degrada en ácidos que hidrolizan los enlaces glucosídicos, mientras que los grupos hidroxílicos son atacados por agentes oxidantes (Casey, 1990, pp. 50, 53).

### **1.1.2.2 Lignina**

La lignina es un componente típico de la pared celular de las plantas vasculares, que son las que originan tejidos que se especializan en funciones como el transporte de soluciones acuosas, apoyo mecánico y eliminación de desperdicios metabólicos. Además, resguarda a la celulosa del ataque microbiano y de sustancias químicas, otorga estructura, resistencia e impermeabilidad a los elementos lignificados (Casey, 1990, p. 72; Del Río y Gutiérrez, 2009).

La lignina suministra rigidez a la pared celular e interviene como puente de unión entre las células, lo cual origina un material resistente a los impactos, compresiones y flexiones. Sin embargo, el cloro y reactivos sódicos como el hidróxido de sodio, la disuelven y transforman en un subproducto soluble en el agua (Casey, 1990, p. 73; Ureña, 2008).

La lignina es un polímero aromático polifenólico, de moléculas grandes y resistentes, con una red ramificada tridimensional, globular e irregular, por lo tanto su estructura es amorfa y su peso molecular es elevado (>10 000 kg/kgmol), debido a esto no tiene una estructura definida como la celulosa (Casey, 1990, pp. 74-75). En la Figura 1.2 se muestra un modelo aproximado a su estructura.



**Figura 1.2.** Estructura modelo de la lignina de madera suave (Ysambert et al., 2009, p. 256)

La lignina es insoluble en agua, característica común de los compuestos aromáticos, pero sus diferentes tipos de enlaces fácilmente se hidrolizan por vía química o enzimática, dado que mediante reacciones químicas se pueden introducir en su estructura grupos sustituyentes polares, los cuales estabilizan las disoluciones de lignina en agua, como la reacción de la lignina con compuestos derivados del azufre, que introducen sustituyentes sulfonados en su estructura, haciéndola soluble (Casey, 1990, p. 76; Turner, 2009).

De no ser por la presencia de la lignina, los procesos de producción de pulpas y extracción de fibras serían fáciles, es por ello que estos tratamientos están destinados a separarla de las fibras y microfibrillas, por lo tanto la cocción o lixiviación se realiza generalmente en medios ácidos o alcalinos (Casey, 1990, p. 71).

### **1.1.2.3 Hemicelulosas**

Las hemicelulosas son polisacáridos no celulósicos que están interpenetrados en la celulosa y lignina de las paredes celulares y están compuestas por diferentes unidades de monosacáridos ramificados y lineales que contienen cadenas de azúcares de cinco carbonos llamados pentosas (xilosa y arabinosa), azúcares de seis carbonos denominados hexosas (glucosa, manosa y galactosa) y ácidos urónicos, conectados entre sí por enlaces glucosídicos, para formar de esta manera estructuras ramificadas y en su mayoría amorfas (Casey, 1990, p. 59; Del Río y Gutiérrez, 2009).

Las hemicelulosas se diferencian de la celulosa en que son ramificadas, tienen un peso molecular más bajo y se hidrolizan más fácilmente en ácidos, además son sustancias insolubles en agua y solubles en álcali (Casey, 1990, p. 60).

Los compuestos más importantes de las hemicelulosas son los pentosanos, cuya unidad repetitiva es la pentosa, los cuales al ser carbohidratos embeben grandes cantidades de agua, además poseen la facilidad de hincharse por lo que permiten

el ingreso de los reactivos de extracción y se encuentran principalmente en las paredes celulares, donde sirven generalmente como alimentos de reserva (García, 1993, p. 17).

#### **1.1.2.4 Pectina**

La pectina es un éster metilado del ácido poligalacturónico, comprendido de cadenas de 300 a 1 000 unidades de ácido galacturónico entrelazados por enlaces  $\alpha$  1-4. Se encuentra como parte de las paredes de las células vegetales en menor cantidad que la celulosa. En el gel hidratado que forman las pectinas está embebida la red celulosa-hemicelulosa, lo cual ayuda a que las células vegetales permanezcan unidas, además para impedir el colapso de la red de celulosa, actúan como un relleno hidrofílico. También determinan la porosidad de la pared celular a las macromoléculas y producen superficies cargadas que regulan el pH y el balance iónico. Las pectinas son solubles en agua solamente después de una alcalinización parcial (González, 2011; Montilla, 2007; Zamora, 2011).

#### **1.1.2.5 Grasas, ceras y resinas**

Son sustancias insolubles en medio acuoso que se encuentran como recubrimiento en la epidermis de toda la planta para evitar la pérdida de agua por evaporación, proteger a las células contra daños mecánicos y repeler parásitos (Del Río y Gutiérrez, 2009; Ward, 1955, p. 121).

Las ceras son mezclas de alcoholes grasos, ácidos grasos y ésteres y se obtienen por esterificación de un ácido graso con un alcohol monovalente lineal de cadena larga, en cambio las grasas están formadas por triésteres del glicerol y ácidos grasos, que pueden a temperatura ambiente ser sólidas o líquidas, lo cual depende de su estructura y composición. Al ponerlas en contacto con soluciones alcalinas, debido al elevado peso molecular de los ácidos grasos presentes, sus

sales alcalinas, serán solubles sólo a altas temperaturas, es por tanto que, la eliminación de estos compuestos por el tratamiento cáustico procede esencialmente a través de la emulsión y en menor medida por medio de la solubilización (Ward, 1955, p. 122).

Las resinas son productos formados de la secreción de las plantas que mediante procesos de polimerización o secado forman productos sólidos, duros y quebradizos. Su principal función es la protección de la planta contra los patógenos, debido a su baja degradabilidad (Del Río y Gutiérrez, 2009; Ramírez, 2010).

#### **1.1.2.6 Cenizas**

Son la parte inorgánica de la planta debido a que contienen minerales como hierro, fósforo, magnesio, etc. Estas son una fuente de alimentación y nutrición de la planta y contribuyen a regular la carga electrostática de la misma, constituyendo un factor importante para el teñido con colorantes naturales o artificiales (Rojas, 1993, pp. 119-120).

## **1.2 EL FORMIO**

Esta planta se encuentra originalmente en Nueva Zelanda y en la isla Norfolk. El formio es una planta perenne perteneciente al orden de las Liliales, familia *Agavaceae* (Brescia, 1969, p. 248; Warwick, 2000, p. 469).

Existen dos variedades de formio: *Phormium tenax* o lino de Nueva Zelanda y *Phormium cookianum* o lino montañés de Nueva Zelanda. Las fibras obtenidas de las hojas de *Phormium tenax* son de fácil extracción y se caracterizan por su fuerza, elasticidad y color, a diferencia de las obtenidas del *Phormium cookianu*, que son débiles y difíciles de extraer. Por lo tanto, se prefiere extraer las fibras de las primeras (Warwick, 2000, p.469).

Las hojas del formio constituyen una fuente importante de fibras y es por esto que antes de la Segunda Guerra Mundial, eran la materia prima de diversos artículos como esteras, cestas, cuerdas e inclusive prendas de vestir. Debido a su elevado uso, las fibras de formio, llegaron a ser una fuente económica importante en su país de origen (Warwick, 2000, p. 470).

El formio está formado por tallos cortos y robustos, con hojas largas ensiformes de color verde oscuro y plegadas hacia la base; su superficie es lisa y los márgenes son rojizos al igual que el nervio medio en el envés, el cual es engrosado y prominente. Las hojas forman un abanico sobre un rizoma horizontal grueso, corto y carnoso que se propaga para crear en pocos años espesos matorrales. Además, se caracterizan por ser erguidas y rígidas, por lo menos en la parte baja. Sus dimensiones son de 5 a 12 cm de ancho, altura de 1 a 3 m, y se pueden cultivar de 5 a 8 hojas por planta, la cual se muestra en la Figura 1.3 (Brescia, 1969, p. 248; Wagner, Herbst y Sohmer, 1990, pp. 1356-1357).



**Figura 1.3.** Planta de formio  
(Consultorio de jardinería, 2001)



Entre los 5 y 7 años de edad, emerge un largo escapo floral, del centro del abanico de hojas, que puede ser más alto que las hojas, hasta una altura entre 4 a 5 m. Las flores se ubican en las ramificaciones alternas del escapo y son de color amarillo-rojizas, de 3 a 5 cm de largo. Para la reproducción, los pájaros e insectos polinizan las flores, hasta que se convierten en vainas erectas. El fruto mide entre 5 y 10 cm de largo y comprende entre 60 y 150 semillas elípticas, de color negro (Brescia, 1969, pp. 248-249; Wills, 2005).

### **1.2.1 LABORES CULTURALES**

El formio se adapta a la mayoría de suelos, aunque se prefieren suelos de humedad moderada, profundos y bien drenados. Además se desarrolla de mejor manera en climas templados y húmedos que en climas tropicales. Es preferible sembrar en épocas en las que las temperaturas no sean muy altas o muy bajas (Brescia, 1969, p. 249).

Esta planta se defiende muy bien por sí misma y, por lo tanto, no requiere de muchos cuidados durante su crecimiento, sin embargo, durante los primeros tres años, hay que combatir las malezas, para un buen desarrollo del cultivo. El riego debe realizarse cada 2 a 3 semanas y se debe evitar formar charcos por riego excesivo (Brescia, 1969, p. 249; Giardinaggio, 2004).

La propagación, puede realizarse por semillas o por renuevos. La primera, exige la elaboración de almácigos que luego se enviveran y al alcanzar las plantas los 50 cm de altura se transplantan al terreno. La segunda se realiza al separar los renuevos con una porción de rizoma de una planta adulta de 4 años, de la cual se obtiene entre 20 y 30 nuevas plantas. El cultivo debe hacerse con una separación de 1 m entre plantas y 2 m entre líneas y se requieren alrededor de 3 500 plantas para cubrir una superficie de 1 hectárea (Brescia, 1969, p. 249).

Si el plantío se hizo con renuevos, la cosecha comienza cuando la planta tiene 4 años, mientras que, para aquellas que fueron plantadas por semillas, la primera

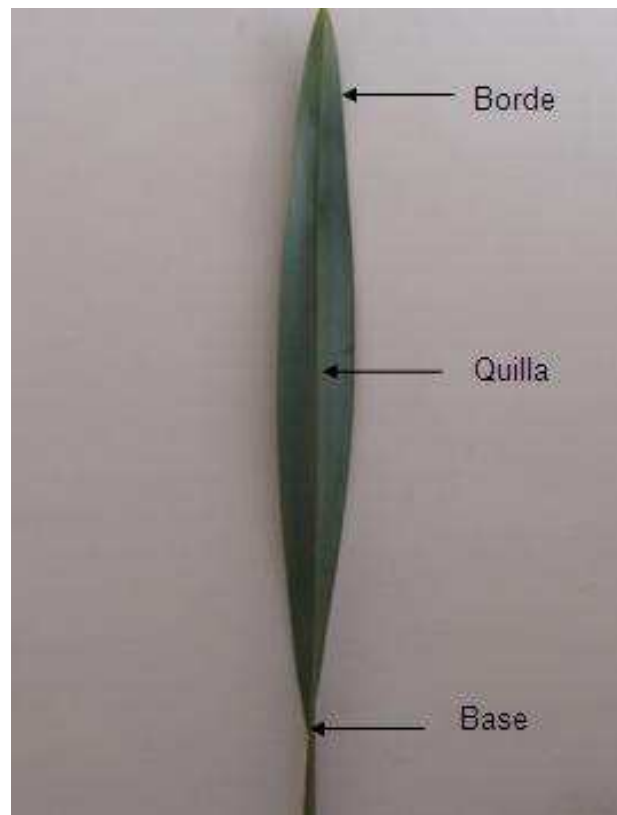
cosecha requiere de dos o tres años más. Se pueden cortar por cada planta alrededor de 8 a 10 hojas y para asegurar la supervivencia de la misma no se debe cortar las hojas centrales. Esto garantiza la formación de nuevas hojas, además asegura la continuidad de la actividad fotosintética y el almacenamiento de reservas en los rizomas. El corte se hace con hoces o cuchillos afilados a una altura de 20 a 30 cm del suelo de abajo hacia arriba y de adentro hacia afuera. Las hojas son atadas en mazos de aproximadamente 40 kg para ser transportadas a las instalaciones donde se procesarán. Se debe evitar la cosecha en verano, debido a que la desecación de las hojas se da más rápidamente y esto dificulta la operación de desfibrado (Brescia, 1969, p. 250).

El rendimiento dependerá de factores climáticos, de la edad de la planta, la distancia entre plantas y el suelo donde se cultiva y está determinado entre 50 a 70 t/ha de hoja en el primer corte con un aumento de 15 t en los posteriores cortes, hasta llegar a unas 100 t/ha. Al tomar en cuenta que las cosechas son cada cuatro años, el rendimiento promedio es de 80 t/ha, por lo tanto, anualmente se estima 20 t/ha de hoja verde con un contenido de fibra de 10 a 12 % por hoja, de lo cual se obtiene una producción anual de fibra entre 2 000 y 2 500 ton/ha (Brescia, 1969, pp. 250-251).

### **1.2.2 EXTRACCIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LAS FIBRAS**

Las fibras pueden ser extraídas de forma manual o de forma mecánica. La forma manual consiste en remover los bordes a 5 mm de ancho y la quilla (sección central, gruesa y roja de la hoja), lo cual divide a la hoja en dos secciones. A cada mitad de la hoja se le presiona de abajo hacia arriba cada una de sus caras con una concha afilada, para desprender gran parte del tejido no fibroso y liberar la fibra, misma que es lavada para eliminar restos de este material, luego es secada a la intemperie y posteriormente almacenada. La parte inferior de la hoja, pese a tener fibras es descartada debido a la dificultad de extracción (Brescia, 1969, p. 251; Warwick, 2000, p. 471).

En la Figura 1.4 se muestra la hoja de formio con las partes que serán retiradas:



**Figura 1.4.** Hoja de formio con las partes que serán removidas

Industrialmente, para la extracción de la fibra, se usan máquinas que constan de un cilindro giratorio conformado de una serie de barras o listones metálicos, dispuestos unos en forma diagonal y otros en forma transversal, que giran a 2 500 revoluciones por minuto. A través de rodillos alimentadores las hojas de formio pasan entre el cilindro y una barra fija. La fibra es separada del parénquima y otros tejidos foliares por la acción del raspado ejercido sobre la hoja por los listones. Esta separación es complementada por un lavado intenso y luego se lleva a la fibra a secaderos en donde se seca y blanquea a pleno sol. También pueden emplearse otros sistemas o mecanismos como el de cardas, donde mediante el pasaje de las hojas entre cilindros recubiertos de púas o dientes, estas son desfibradas (Brescia, 1969, p. 251).

Las fibras que son extraídas de las hojas llegan a medir de 1 a 2 m de largo, están conformadas por fibrillas de 5 a 15 mm de largo y de 10 a 20 micrones de

diámetro, por lo tanto, es una de las más largas de las llamadas fibras duras, únicamente superada por las de abacá (Brescia, 1969, p. 249).

Las fibras de formio son de forma cilíndrica cuyos extremos están en punta y su superficie es lisa con posibles irregularidades onduladas en las paredes celulares. En corte transversal, tienen forma casi circular, de paredes celulares uniformemente engrosadas y lumen parcialmente pequeño. Además, su estructura es ligno-celulósica con alrededor del 63 % de celulosa (Brescia, 1969, p. 249).

Las fibras se caracterizan por ser lustrosas, suaves y flexibles, de color blanco amarillento o blanco crema y, si bien son resistentes, poseen una posición intermedia entre las fibras duras como el sisal y el abacá y entre las blandas o suaves como el cáñamo, el yute y el lino (Brescia, 1969, p. 249).

### **1.3 DESCRUDE, BLANQUEO Y SUAVIZADO DE FIBRAS CELULÓSICAS**

#### **1.3.1 GENERALIDADES**

Una preparación inadecuada del sustrato (fibras sueltas, hilos, telas, etc) puede ocasionar problemas en los procesos de acabados textiles posteriores. Para evitar esto, se debe remover impurezas agregadas o naturales como grasas, pectinas y ceras, que hacen que el sustrato no sea absorbente y, por tanto, disminuyen la eficiencia de procesos subsecuentes. Además, impurezas metálicas presentes en el sustrato y el agua pueden ocasionarle daños como defectos de teñido, depósitos de fibra, baja absorción, pérdida de fuerza y huecos por la formación de oxixelulosa, etc. (Sarex, 2010).

La eficiencia de los procesos de acabado textil como blanqueo o teñido dependen de factores como: naturaleza de las impurezas presentes en el sustrato, calidad del agua utilizada, calidad y cantidad de los productos químicos, auxiliares

químicos aplicados y parámetros del proceso empleados durante la preparación (Sarex, 2010).

### **1.3.2 DESCRUDE**

El descrude realiza una saponificación o emulsificación de las impurezas naturales de las fibras como grasas, ceras y materias pectínicas, además, remueve parte de los colores naturales del material textil (Beltramone et al., 2012).

Entre la grasa y el hidróxido de sodio ocurre una saponificación y de esta manera se elimina la grasa presente en la fibra. Además, la sosa actúa sobre las pectinas transformándolas en sales solubles del ácido péctico e hidroliza las proteínas en polipéptidos solubles y aminoácidos que son removidos irreversiblemente (Roy, 2006, p. 110; Ward, 1955, p. 149).

El descrude de fibras, comúnmente es realizado en una solución acuosa caliente de hidróxido de sodio y es un tratamiento importante en los procesos textiles húmedos, debido a que los componentes hidrofóbicos de la pared principal (pectinas, proteínas y ácidos orgánicos) y de la cutícula (ceras y grasas), impiden el humedecimiento y, por tanto, deben ser eliminados de las fibras para obtener un sustrato lo suficientemente hidrofílico para las posteriores etapas de acabado textil, como blanqueo o tintura. Estos materiales no celulósicos originan una barrera física hidrofóbica que da protección a la fibra del ambiente durante su desarrollo (Sarex, 2010).

Pese a que un menor contenido de ceras generalmente significa una mejor absorbencia, se prefiere que el contenido de ceras no sea menor al 0,1 % porque la fibra puede tornarse áspera y quebradiza, debido a la lixiviación de la capa cerosa fuera de la cutícula, por lo tanto, se prefiere un residuo graso de un 0,25 % que le conferirá un tacto adecuado, pero un exceso puede dar lugar a amarillamientos posteriores. Sin embargo, es conveniente el uso de una sustancia

suavizante, para recuperar el tacto y suavidad de la fibra (Siminuk et al., 1970, pp. 769; Ward, 1955, p. 150).

En el descrude se busca preservar tanto como sea posible la estructura original de la pared primaria y se trata a las fibras con humectante y detergente resistentes y estables en soluciones diluidas de álcalis debido a que la celulosa es estable en este tipo de soluciones (Ward, 1955, p. 171).

Las principales funciones del detergente y humectante en el tratamiento alcalino son:

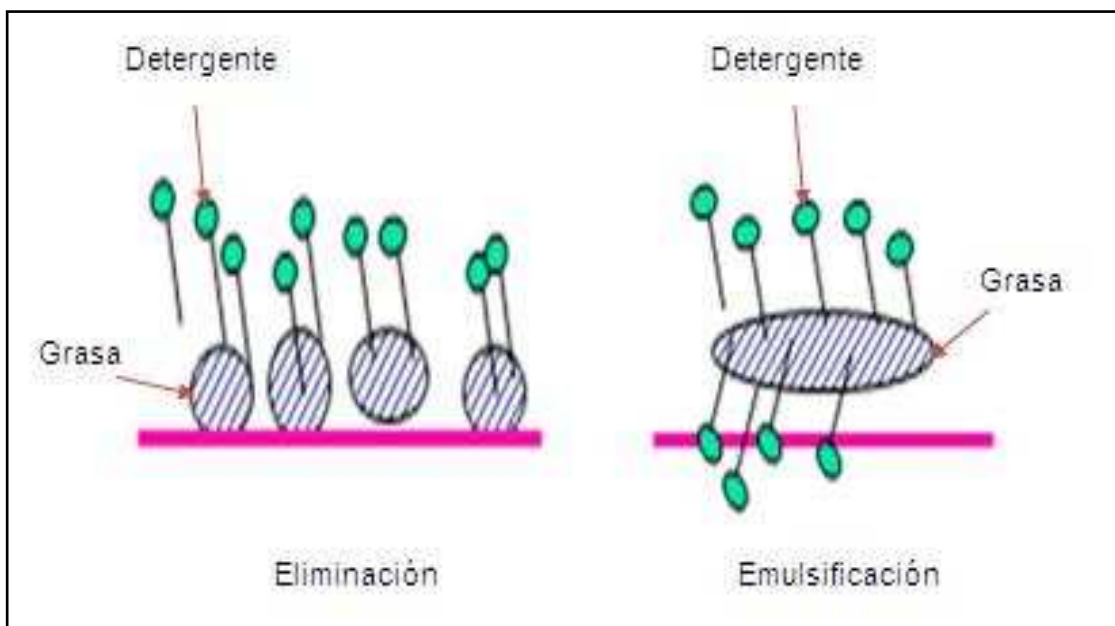
- Permitir una buena, rápida y uniforme humectación del género.
- Reducir mediante el humectante la cantidad de aire existente para permitir que el detergente y productos químicos, reduzcan la tensión superficial del agua.
- Limpiar, dispersar y emulsionar las impurezas desprendidas en el lavado y enjuague, para evitar que estas impurezas desprendidas se depositen o precipiten sobre la fibra con el fin de obtener un resultado uniforme en la muestra, dado que las impurezas pueden afectar en la homogeneidad del material en los procesos químicos posteriores.
- Dar buena estabilidad a los iones, especialmente de hierro o magnesio (Sarex, 2010; Ward, 1955, p. 205).

La celulosa, en las fibras vegetales, se hincha al humectarse y la cantidad de humedad absorbida, depende de la temperatura de tratamiento y del procesamiento preliminar del material textil. El hinchamiento de la fibra crece con el aumento de la temperatura. Ante la acción del vapor directo o en presencia del oxígeno del aire a temperaturas mayores de 120 °C, puede ocurrir la destrucción de la celulosa con la formación de oxixelulosa (Morales, 1993, pp. 91-92).

El detergente debe evitar la reinsertión de impurezas en la superficie de la fibra, además, debe protegerla ante cualquier incremento que se produzca en el contenido de álcali, el detergente debe ser adsorbido sobre la superficie de la fibra

y romper el enlace suciedad-fibra para así desprenderlas mediante una dispersión fina que evita que las materias no saponificables se agrupen para formar un conglomerado de tamaño mayor y, por consiguiente, la aparición de manchas (Marsh, 1958, p. 188; Ward, 1955, p. 177).

Para poder penetrar mejor en la superficie a limpiar, el detergente debe reducir la tensión superficial del agua al evitar que sus moléculas estén tan atraídas mutuamente. Las moléculas del detergente están formadas por un polo lipófilo, que se combina con la suciedad (unida a la fibra por medio de partículas oleosas), la cual es puesta en suspensión en la solución y, un polo hidrófilo que se combina con el agua que arrastrará la suciedad rodeada de detergente. Una vez que el detergente ha roto en pequeñas partículas a las impurezas, una adecuada agitación es importante para remover estas impurezas liberadas de las superficies de las fibras (Joomla, 2011; Luna, 2009; Ward, 1955, p. 177). En la Figura 1.5 se muestra el mecanismo de remoción de la suciedad.



**Figura 1.5.** Mecanismo de remoción de la suciedad por el detergente  
(Luna, 2009)

Debido a que se eliminan principalmente grasas, ceras y resinas por saponificación o emulsificación, la pérdida de peso del sustrato será entre el 6 % y 9 %, dependiendo de las condiciones del proceso (Siminuk et al., 1970, p. 770).

Es importante recalcar que los cambios que ocurren en las fibras durante el tratamiento alcalino dependen principalmente de la concentración del álcali usado, de la temperatura y del tiempo de duración del proceso, debido a que una alta concentración de hidróxido de sodio puede ocasionar una excesiva despolimerización de la celulosa y deslignificación de la fibra, lo cual afectará adversamente la resistencia de la misma (Sullcahuamán et al., 2007, p. 3).

Luego del descrude es importante lavar las fibras con agua caliente para permitir el total desprendimiento de las impurezas extraídas, porque, mientras estén en la solución de álcali se pueden aglomerar y gelatinizar con descensos no controlados de temperatura y bloquear el efecto deseado, posteriormente se añade ácido acético para neutralizar la sosa que pudiera haber sido retenida por la fibra (Sarex, 2010; Ward, 1955, p. 151).

En la Tabla 1.2 se muestran las condiciones de descrude de algodón en proceso batch:

**Tabla 1.2.** Parámetros para el descrude de algodón

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
Hidróxido de Sodio	2 g/L
Detergente	1 g/L
Humectante	1 g/L
Tiempo de descrude	60 min
Razón licor (peso de material/volumen de solución)	1:25
pH	10-12
Temperatura	Ebullición

(Santizo, 1996, p. 60)

### 1.3.3 BLANQUEO

El blanqueo consiste en retirar las impurezas coloreadas para impedir su interferencia óptica con el color a ser desarrollado. Esto significa que el objetivo del tratamiento es la destrucción o solubilización del material colorante para que



pueda ser removido por lavado y el cambio de coloración del material debido a la reducción de la absorción de la luz (Ward, 1955, p. 176).

El blanqueo se usa después o en forma simultánea con el descruce y antes del teñido o estampado. La intensidad de blancura alcanzada por la fibra puede variar en función de la aplicación que se le dará posteriormente, por ejemplo, para un acabado final de teñido de tonos brillantes puede necesitarse un blanco nítido, pero en los casos en los que se desea tener colores oscuros (negros o cafés) puede no requerirse de un blanqueo previo (Escobar, 1996, p. 30).

Existen algunas opciones para el proceso de blanqueo, entre estas están los realizados con: hipoclorito de sodio, clorito de sodio y peróxido de hidrógeno.

#### **1.3.3.1 Blanqueo con hipoclorito de sodio**

En el blanqueo con hipoclorito, se debe conocer la concentración de cloro activo, el cual se encuentra presente en el ión hipoclorito y que en sí es el verdadero producto blanqueador, caso contrario se corre el riesgo de reducción del largo de la cadena molecular y modificación de la celulosa, lo que disminuirá las propiedades mecánicas de la fibra (Escobar, 1996, p. 31; Ward, 1955, p. 179).

El hipoclorito de sodio, al estar en medio alcalino, reacciona y produce el ácido hipocloroso que se descompone para obtener ácido clorhídrico y oxígeno, según las ecuaciones 1.1 y 1.2. A pH superiores a 9,5 una parte del ácido hipocloroso se descompone en iones hipoclorito. El ácido clorhídrico es soluble y fácil de eliminar con lavados de agua fría, es por ello que no requiere de un acidulado posterior, sino únicamente de un tratamiento anticloro con tiosulfato sódico que provoca una reacción en donde todo el cloro que fue transformado en cloruro sódico, ácido clorhídrico y ácido sulfúrico, se puede lavar con agua. En la operación anticloro también se puede usar agua oxigenada (Escobar, 1996, pp. 31-32; Marsh, 1958, p. 219).



El hipoclorito de sodio es un poderoso agente oxidante y posee un potencial redox alto, de tal forma que reacciona rápidamente con las impurezas naturales de la fibra, aunque el riesgo de daño a las fibras es mayor en comparación con otros métodos. Por esta razón, los parámetros de proceso del blanqueo, deben ser estrictamente controlados. Debido a su alto potencial de oxidación, el blanqueo con hipoclorito de sodio es realizado sólo en frío. Un blanqueo en caliente está descartado a causa del desplazamiento del equilibrio en la dirección del ácido hipocloroso o el cloro activo que pueden producir daños drásticos a la fibra. El blanqueo con hipoclorito de sodio debe ser realizado en medio alcalino, preferiblemente en valores de pH entre 9,5 y 10,5, debido a que en valores alrededor de 7,0 se producen daños en la fibra porque a este pH hay concentraciones muy altas de ácido hipocloroso, el mismo que reaccionará no solamente con las impurezas naturales de las fibras vegetales, sino también con la estructura del polímero de la fibra. En cambio si el blanqueo es efectuado en medio ácido el hipoclorito se vuelve inestable, lo cual causa el escape de cloro gas venenoso (Marsh, 1958, p. 218; Rouette, 2001, p. 175).

La liberación de ácido clorhídrico en las soluciones de hipoclorito tiene una fuerte tendencia a disminuir el pH durante los procesos de blanqueo, por lo tanto, para evitar esto y el consiguiente daño a la fibra, se añade a la solución agentes buffers alcalinos como carbonato de calcio (Ward, 1955, pp. 183-184).

La blancura obtenida con este proceso no es estable, y tiende hacia el amarillo. Según la temperatura del proceso la fibra celulósica puede dañarse por hidrólisis y además tornarse parda, efecto que se acentúa con la presencia de oxígeno. Por ende, un blanqueo con hipoclorito es comúnmente empleado como el primer paso en un proceso compuesto de hipoclorito y peróxido (Sarex, 2010; Ward, 1955, p. 178).

A manera de ejemplo en la Tabla 1.3 se muestran las condiciones de blanqueo con hipoclorito de sodio para fibras de abacá:

**Tabla 1.3.** Parámetros de blanqueo de abacá con hipoclorito de sodio

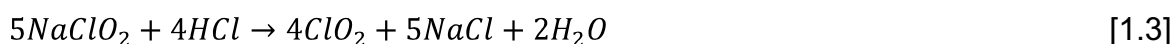
Parámetro	Valor
Hipoclorito de Sodio	3-6 g/L
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	3-5 g/L
Humectante	0,5-1 g/L
Razón licor (R.L)	1:30
pH	9,5-10,5
Temperatura	Ambiente
Tiempo	1-3 horas

(Bonilla, 2005)

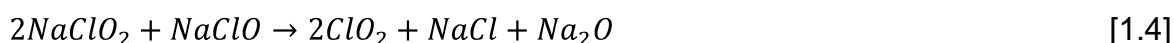
### 1.3.3.2 Blanqueo con clorito de sodio

En el blanqueo con clorito de sodio no se obtiene un grado de blancura alto a pesar de realizar un descrude previo. La reacción produce dióxido de cloro que es reactivo, venenoso y corrosivo. Este método es utilizado generalmente para fibras sintéticas en condiciones cerradas y con el equipo apropiado (Sarex 2010; Ward, 1955, p. 189).

La celulosa puede ser purificada sin apreciable degradación por el dióxido de cloro. El clorito de sodio en solución genera dióxido de cloro de acuerdo a la ecuación 1.3:



Otro método de generar dióxido de cloro consiste en hacer reaccionar clorito como se indica en la ecuación 1.4:



El clorito de sodio es menos oxidante que el hipoclorito, con un bajo potencial de oxidación y por lo tanto, se debe aumentar la temperatura y la concentración de clorito de sodio o reducir el pH entre 3,4 a 3,7. Las condiciones recomendadas son temperatura de 80 °C a 91 °C, licor de relación 17:1 y 2,5 g/L de clorito de sodio, el pH se debe ajustar con ácido fórmico y no con ácidos minerales para evitar valores de pH bajo 3,2, debido a que, esto resulta en la formación de hidrocélulosa. Este proceso presenta desventajas como corrosión de los equipos por el desprendimiento del dióxido de cloro gaseoso (Escobar, 1996, p. 33; Ward, 1955, p. 190).

### **1.3.3.3 Blanqueo con peróxido de hidrógeno**

En el blanqueo con peróxido de hidrógeno se produce oxígeno, que oxida los colores naturales de las fibras, sin ocasionar daños a la cadena de celulosa, y ofrece ventajas tales como: no genera productos contaminantes tóxicos o corrosivos, el deterioro a la fibra es mínimo, menor pérdida de peso, se alcanza la intensidad de blanco requerida, el proceso es de fácil control y el material blanqueado es más absorbente (Marsh, 1958, p. 222; Sarex, 2010).

Como un ácido débil en soluciones acuosas el peróxido de hidrógeno se disocia en iones en baja proporción. Los ácidos libres tienen una muy débil acción blanqueadora y por lo tanto tienen que ser activados para ser capaces de producir un adecuado efecto de blanqueo. Por esta razón el blanqueo con peróxido de hidrógeno es realizado exclusivamente en un medio alcalino y se usa con este fin el hidróxido de sodio (Rouette, 2001, pp. 173-174).

En una reacción de blanqueo, se forman principalmente agua y oxígeno. Con la adición de sosa cáustica, el peróxido de hidrógeno es activado, y se forma agua y peróxido de sodio, el mismo que se disocia en iones sodio y oxígeno activo y en iones sodio y perhidróxido de sodio, estas reacciones se presentan en las ecuaciones 1.5, 1.6 y 1.7 (Sarex, 2010; Ward, 1955, p. 191).



El oxígeno activo reacciona con los enlaces químicos dobles de los sistemas de cromóforo, como los pigmentos de caroteno que le dan a las fibras crudas sus colores característicos como cremas o cafés (Sarex, 2010).

Si bien el objetivo del blanqueo es principalmente oxidar las sustancias cromóforas de la fibra, hay que tomar en cuenta que el tratamiento con peróxido, según las condiciones del proceso, puede causar algo de degradación de la celulosa. (Ward, 1955, p. 191).

El oxígeno en su forma molecular no tiene mucha influencia en el blanqueo, por ello se deben buscar las condiciones adecuadas para obtener oxígeno activo. Los factores que regulan la producción de oxígeno y la velocidad de blanqueo son:

*Alcalinidad de los baños de agua oxigenada:* Al aumentar la alcalinidad, la velocidad de descomposición de los baños aumenta incrementándose la velocidad de blanqueo. El pH apropiado de los baños de blanqueo está entre 10 y 11, si sobrepasa este valor ocurre la formación de oxígeno elemental, el mismo que ataca a la celulosa (Escobar, 1996, p. 37).

*Temperatura de los baños de agua oxigenada:* Un rápido aumento de la temperatura de los baños de agua oxigenada, producirá más pronto la separación del oxígeno del agua oxigenada, por lo tanto, para obtener el máximo rendimiento del oxígeno activo, la temperatura debe subir lo más rápido posible a 80 °C y luego hasta la ebullición. Sin embargo, el oxígeno activo pierde su poder conforme oxida a las sustancias cromóforas y, por ende, no se debería realizar este proceso prolongadamente, dado que esto implicaría gastos innecesarios de tiempo, energía y dinero (Escobar, 1996, p. 37).

*Estabilizadores:* Son utilizados para regular la separación del oxígeno activo del agua oxigenada, de manera lenta y homogénea. El oxígeno activo es el responsable de la acción de blanqueo y de mantener un potencial alto de oxidación a lo largo del proceso (Escobar, 1996, pp. 37-38).

Actualmente existen dos sistemas estabilizadores: el silicato de sodio y los estabilizadores orgánicos.

En la Tabla 1.4 se muestran las condiciones de blanqueo de algodón con peróxido de hidrógeno para proceso batch:

**Tabla 1.4.** Parámetros de blanqueo de algodón con peróxido de hidrógeno

Parámetro	Valor
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 35 %	3-5 mL/L
Silicato de Sodio	0,5-1 g/L
Humectante	0,5-1 g/L
Sosa Caústica	1-2 g/L
Tiempo de blanqueo	1-3 h
Razón licor	1:25
pH	10-11
Temperatura	Ebullición

(Escobar, 1996, p. 49)

Las sales ferrosas presentes en el agua funcionan como catalizadores al activar de forma rápida la separación del oxígeno, cuya acelerada producción convierte a la celulosa en oxixelulosa, lo que degrada el material que se está blanqueando, es por ello que se debe usar agua libre de hierro en los baños de blanqueo con peróxido de hidrógeno (Escobar, 1996, p. 38).

Para seleccionar el estabilizador, se deben tomar en cuenta criterios como:

- Efectos de estabilización a diferentes valores de pH, temperatura, rango de licor y dureza del agua.

- Secuestro de los iones metálicos contaminantes.
- Efectos en la absorbencia, grado de blancura y economía (Sarex, 2010).

Después del blanqueo, si el peróxido residual no es eliminado de la tela, puede producirse un debilitamiento de la misma y la aparición de agujeros. Es por ello que se realiza la neutralización mediante el uso de ácidos orgánicos como el ácido acético hasta que el pH sea neutro (Sarex, 2010).

### **1.3.4 SUAVIZADO**

La celulosa y la lignina le confieren a la fibra rigidez y resistencia a la tracción, que junto con la poca flexibilidad y aspereza dificultan procesos de hilado, por tanto, con la finalidad de facilitar la hilatura, es necesario realizar un ablandamiento y disminuir la rigidez de la fibra por medio de procesos adecuados, que garanticen la obtención de fibras íntegras (Bonilla, 2005; Pereira, Patt y Kordsachia, 2011, p. 225).

#### **1.3.4.1 Suavizado químico**

El suavizado químico se realiza mediante procesos semejantes a la obtención de pulpa, en los que básicamente se procura eliminar la lignina de la madera. En la elaboración de pulpa, los enlaces de las moléculas que forman la estructura de las astillas de madera se rompen mecánica o químicamente o al combinar los dos procesos. Las pulpas producidas de forma mecánica se obtienen al triturar con molinos o entre placas metálicas a la madera, cuya acción no provoca la disolución de la lignina que une la celulosa a la hemicelulosa, pero causa la separación y fractura de las fibras de celulosa que se asientan en la parte exterior de la estructura de la madera al ablandarse la lignina, por tanto, no existe en la pasta fibras individuales sino grupos y fragmentos de fibras, además este proceso no altera la composición original del material fibroso a excepción de la eliminación

de los solubles en agua (Casey, 1990, pp. 209, 219; Teschke y Demers, 1998, pp. 72.6-72.7).

En cambio, en las pulpas obtenidas de forma química ocurre la eliminación selectiva de la lignina que une y que está dispuesta entre las fibras, con un daño mínimo a las celulosas, durante este proceso ocurre la separación de la lignina y hemicelulosa de la celulosa mediante la sacarificación y disolución de las hemicelulosas que rodean las microfibrillas de celulosa hinchadas por la fase líquida (reactivos de deslignificación) en las partes amorfas y no hinchadas en las cristalinas, al mismo tiempo en las capas de lignina, químicamente unidas a las hemicelulosas, ocurren rupturas de éteres entre sus monómeros; este proceso causa la despolimerización y disolución del complejo lignina-hemicelulosa, mismo que se separa de la celulosa, la cual, es la más resistente de estos polímeros tanto a la hidrólisis térmica como a la oxidación. La celulosa, a pesar de que no se disuelve sino hasta que queda poco complejo lignina-hemicelulosas, presenta un grado de polimerización promedio que disminuye (Casey, 1990, pp. 209-210; Núñez, 2004, pp. 3-4; Teschke y Demers, 1998, p. 72.7).

El pulpado es realizado en medios ácidos o alcalinos, debido a que en soluciones neutras la hidrólisis degradativa de la lignina es lenta y dificultosa (Núñez, 2004, p. 5).

A continuación se explican los procesos de pulpado más importantes:

*Proceso al sulfato de sodio o Kraft:* Este proceso se realiza a temperaturas entre 160 y 180 °C y se usa hidróxido de sodio y sulfato de sodio, en donde el sulfato se reduce a sulfuro durante el proceso, el cual aumenta la disolución de la lignina, sin que esto intensifique la degradación de la celulosa, por lo que los agentes activos son el sulfuro sódico y el hidróxido sódico, más no el sulfato (Turner, 2009).

Este proceso presenta desventajas en el color de las pulpas o fibras obtenidas, dado que estas son oscuras por la formación de compuestos coloreados de lignina. Otro inconveniente, es la dificultad en controlar olores sulfurosos como



tioles y sulfuros, los cuales se pueden presentar en concentraciones de partes por mil millones y son difíciles de evitar (Lenntech, 2010; Turner, 2009).

*Proceso al bisulfito:* En este proceso se realiza un impregnado de las astillas de la madera con bisulfito sódico, el cual provoca la separación de la lignina de las fibras celulósicas, mediante la sulfonación de las moléculas de lignina, con la formación de ácidos lignosulfónicos más hidrofílicos, lo que ocasiona hinchazón en la fibra y una mejor absorción de agua. Durante el proceso se debe mantener el pH entre 4 y 6, para lograr pulpas resistentes y blancas. Con la finalidad de obtener un buen impregnado se controla la presión del tratamiento entre 5 y 10 kg/cm<sup>2</sup> y se debe realizar en ausencia de aire (Turner, 2009).

El bisulfito de sodio también se aplica en el suavizado de fibras de abacá, en Filipinas, cuyo proceso es realizado a temperatura de ebullición durante 2 h, a concentraciones de hidróxido de sodio y bisulfito de sodio de 5 y 0,05 % respectivamente (Guerrón, 2005, pp. 81-82).

*Proceso al sulfito de sodio:* Este proceso es empleado en el tratamiento de maderas suaves o duras de baja densidad. El licor utilizado en la extracción está formado de sulfito de sodio, cuyo pH debe estar entre 9 y 12, el cual es regulado por compuestos como carbonato de sodio, hidróxido de sodio y sulfuro de sodio, en este proceso ocurre la sulfonación de las moléculas de lignina que la hacen soluble en agua y, por tanto, fácilmente extraíble. Si el pH desciende a valores menores a 6, debido a la falta de buffers, esto genera reacciones de hidrólisis de carbohidratos y altera la selectividad del proceso, lo cual afecta a la resistencia de la pulpa final. Con este tratamiento se obtiene buena blancura de las pulpas (Pereira et al., 2011, p. 225; Turner, 2009).

La impregnación del licor en las astillas de la madera es efectiva a temperaturas entre 130 y 170 °C, esto acelera la velocidad del proceso y favorece el refinado posterior, en donde estas son desfibradas sin daños a la fibra, este proceso produce un producto de calidad superior al obtenido de forma mecánica dado que son más resistentes, a pesar del mayor gasto de energía, por lo que, según el uso

que se le dé a la fibra y de sus propiedades finales se evalúa la elección de este método (Turner, 2009).

Para el caso en el que se requiera la obtención de fibras flexibles para hilar, el sulfito de sodio al ser absorbido por el sustrato, permite que el hidróxido de sodio disuelva una parte de la lignina mientras que la parte restante es ablandada, para obtener una fibra menos rígida y suave al tacto, debido a que si se elimina toda la lignina, la fibra será quebradiza y difícil de hilar (Guerrón, 2005, p. 114).

En la Tabla 1.5 se muestran las condiciones de suavizado con sulfito de sodio-hidróxido de sodio para fibras de abacá:

**Tabla 1.5.** Parámetros del suavizado de abacá con sulfito de sodio-hidróxido de sodio

Parámetro	Valor
Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub>	1 % spf
NaOH	20 % spf
Humectante	0,5 % spf
Razón licor	1:40
Temperatura	Ebullición
Tiempo	90 min

(Guerrón, 2005, pp. 123-124)

**Nota:** La abreviatura spf significa sobre peso de fibra

Debido a que el pH durante el proceso está entre 9 y 11, ocurre una fragmentación limitada de la lignina y pasan a disolución las fracciones más reactivas, puesto que la lignina hinchada y ablandada provoca flexibilidad en las fibras y contribuye al enlace fibra-fibra (Casey, 1990, p. 301; Núñez, 2004, p. 7).

#### 1.3.4.2 Suavizado enzimático

En la actualidad, el desarrollo de procesos biotecnológicos al usar enzimas ha permitido reducir el impacto ambiental, con tratamientos textiles en los que se obtienen resultados deseados al actuar las enzimas sobre moléculas específicas

y bajo condiciones suaves. Para el acabado de artículos de algodón y sus mezclas, uno de los tratamientos empleados es con celulasas que pueden ser usadas en las fases de hilado, teñido y acabado de tejidos, estas degradan y separan las fibras de la superficie (fibrillas) otorgándoles un tacto suave y blando con un aspecto limpio y atractivo. Además, reduce pilosidades, mejora la absorción de agua y permite obtener una superficie más clara (Repamar, 2000).

En la industria textil, las celulasas son usadas en el desteñido de telas de jean mediante la remoción del color azul índigo y otorgándoles una apariencia de envejecido. Tradicionalmente este desteñido era ejecutado con piedra pómez ("stone wash"), para desgastar el color por roce, pero este proceso presenta desventajas como el deterioro de la tela por el grado de abrasión generado, desgaste rápido y fractura de las máquinas utilizadas (CAIDB, 2007).

En la actualidad, las celulasas son empleadas juntamente con las piedras pómez o sin ellas y ofrece ventajas como menor degradación de las fibras con un desgaste más uniforme (CAIDB, 2007).

Las celulasas, aparte de ser usadas en el proceso stone-wash de jeans, son empleadas en telas destinadas a la elaboración de blusas y faldas, debido a que este proceso les otorga una textura parecida a la seda natural (CAIDB, 2007).

El biopolishing (tratamiento de pulido biológico con celulasa), puede ser utilizado en cualquier fase del proceso húmedo, pero es mejor su empleo después del blanqueo o el teñido con el propósito de limpiar la superficie del material, disminuir las pilosidades y mejorar la suavidad (Repamar, 2000).

Las celulasas obtenidas a partir de microorganismos de origen fúngico y bacteriano como *Trichoderma sp.*, *Aspergillus niger* y *Bacillus subtilis*, comprenden principalmente tres clases de compuestos enzimáticos: endoglucanasas, celobiohidrolasas y  $\beta$ -glucosidasa, que intervienen de forma distinta en las diferentes etapas de la reacción global (CAIDB, 2007; Lis, 2002, p. 9).

La hidrólisis enzimática de la celulosa ocurre de la siguiente manera: las endoglucanasas hidrolizan los enlaces  $\beta$  1-4 glucosídicos de la molécula de celulosa, atacan principalmente a la celulosa amorfa y a la superficie de las microfibrillas, con la disminución del largo de la cadena de celulosa. Las celobiohidrolasas presentan actividad hacia la celulosa amorfa y ejercen una lenta acción de degradación sobre las zonas cristalinas accesibles del polímero, no atacadas por las endoglucanasas; esto provoca la formación de celobiosa que se transforma en glucosa gracias a la hidrólisis que sobre la celobiosa produce la  $\beta$ -glucosidasa, la cual elimina la acumulación de celobiosa que puede actuar como inhibidor de las celobiohidrolasas y endoglucanasas. Las celobiohidrolasas degradan a la celulosa con menor rapidez que las endoglucanasas, cuya actividad es un poco mayor (Lis, 2002, p. 9; Ovando y Waliszewski, 2005, p. 113).

El grado de degradación enzimática producida en la estructura de los materiales celulósicos está en función del porcentaje amorfo y de la accesibilidad de las moléculas de enzima con la superficie (Lis, 2002, pp. 9-10).

Las enzimas al ser estructuras de origen proteico tienen intervalos de actividad muy concretos, que dependen del pH y de la temperatura del medio en que se encuentran, dado que, a condiciones de temperatura elevada o pH por encima de las condiciones óptimas para su funcionamiento, se descompone la estructura tridimensional de la proteína (se desnaturaliza) y termina su capacidad para actuar como enzima, mientras que a condiciones por debajo de las óptimas la actividad enzimática se reduce por disminución en la movilidad de la molécula (CAIDB, 2007).

Las enzimas de celulasa pueden ser ácidas o neutras. Las primeras, son aplicadas en un intervalo de pH entre 4,5 y 5,0 y a una temperatura entre los 55 °C y 60 °C, con tiempos de tratamiento comprendidos entre 60 a 90 minutos y las segundas funcionan en un pH de 6,0 a 8,0 y temperaturas de 40 y 55 °C. Para detener la reacción enzimática de la celulasa ácida hay que desactivar la molécula al aumentar la temperatura a 80 °C por 10 minutos o el pH debe ser mayor a 7,0 (Lis, 2002, p. 10).

El objetivo del uso de enzimas frente a la fibrilación es debilitar las fibrillas de la superficie del material mediante el ataque degradador de las enzimas mientras que la acción mecánica las retira de la superficie, esto produce una pérdida de peso no mayor al 5 %. Además, debe considerarse que según el producto empleado, la concentración y el tiempo de tratamiento, puede darse alguna disminución en la resistencia a la tracción y al desgarró (Lis, 2002, pp. 10-11).

En la Tabla 1.6, se presenta las condiciones de suavizado de fibras de abacá mediante el empleo de celulasa ácida:

**Tabla 1.6.** Parámetros del suavizado de abacá con celulasa ácida

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
Celulasa ácida	8 % spf
Ácido acético	4 mL/L
Piedra pómez	60 % spf
Razón licor	1:20
Tiempo	75 min
pH	4,5-5,5
Temperatura	55 °C

(Flor, 2008, p. 89)

#### 1.3.4.3 Suavizantes textiles

Durante los procesos de acabado textil se eliminan de la fibra principalmente grasas y ceras naturales otorgándole un tacto quebradizo y áspero. El suavizado contrarresta este efecto, confiriéndole un tacto agradable o suave, lo cual facilita los procesos de corte, costura y confección posteriores. Además, los suavizantes mejoran propiedades como: tacto, volumen, suavidad, caída, elasticidad, tendencia al pilling, neutralización de la carga estática, cosibilidad, anti arruga, resistencia a la suciedad, no irritantes para la piel, etc (Repamar, 2000).

Los suavizantes de acuerdo a su carácter iónico se clasifican en: suavizantes aniónicos (grasas naturales y sintéticas sulfatadas, alcoholes grasos sulfatados,

sulfatos de ácidos grasos, sulfonatos de amidas grasas y de ácidos grasos, cetil sulfato de sodio y sulforicinato de sodio), suavizantes catiónicos (sales y compuestos de amonio cuaternario, amidas de ácidos grasos e imidazolinias), suavizantes no iónicos (derivados del óxido de etileno, ácidos grasos, ésteres grasos, alcoholes grasos oxietilenados, aminas o amidas grasas y monoestearato de glicerilo) y anfóteros (betaínas, óxidos de aminas, imidazolinias) (Marsh, 1957, pp. 271-273; Repamar, 2000).

## **1.4 HILADO Y TEJIDO ARTESANAL**

### **1.4.1 HILO**

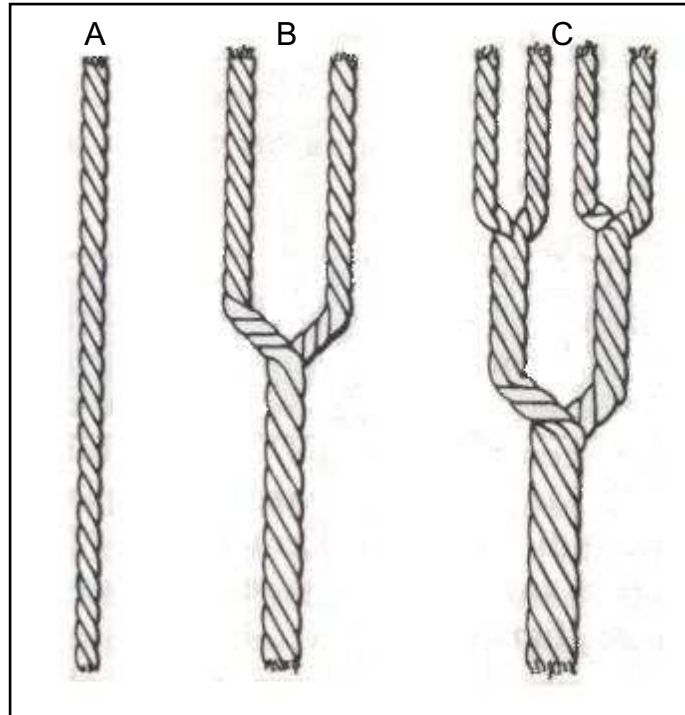
Es un conjunto de fibras textiles continuas o discontinuas agrupadas y cohesionadas, para alcanzar una gran longitud. Se caracteriza principalmente por su composición, grosor, regularidad y peso. Los hilos textiles pueden ser sencillos, retorcidos o cableados (Sunat, 2002).

*Hilos simples o sencillos:* Están formados por fibras discontinuas normalmente unidas por torsión, o un filamento (monofilamento), o dos o más filamentos (multifilamentos) unidos por torsión o sin ella, los cuales forman el hilo continuo (Sunat, 2002).

*Hilos retorcidos:* Están formados por dos o más hilos sencillos (cabos), unidos mediante una operación de torcido (Sunat, 2002).

*Hilos cableados:* Formados por dos o más hilos de los que por lo menos uno está retorcido, estos hilos se unen mediante una o más operaciones de torcido (Sunat, 2002).

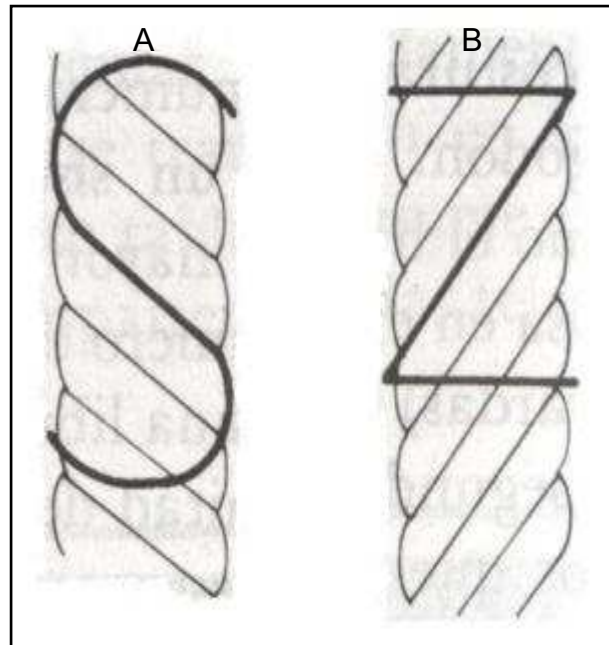
En la Figura 1.6 se muestran estos tipos de hilos.



**Figura 1.6.** Hilos (A) simple, (B) de dos cabos, (C) tipo cable  
(Hollen, 2002, p. 157)

La hilatura es un proceso que consiste en obtener un hilo que previamente pasó por operaciones como: limpieza y recolección de las fibras, cardado para orientar a las fibras y formar una cinta cardada o peinado para paralelizar las fibras y eliminar impurezas, estirado que aumenta el paralelismo de las fibras y dará una mayor uniformidad al hilo y finalmente la torsión que consiste en entrelazar las fibras (cardadas o peinadas) por rotación o giro para evitar que estas resbalen unas sobre otras. Los hilos cardados elaborados de fibras cortas, poseen más fibrilaciones que los hilos peinados, lo que influye en la formación de pilling en la superficie de la tela, además ayudan a dar un aspecto mate y afelpado (Hollen, 2002, pp. 146-147).

Existen dos direcciones de torsión: torsión S, si la torsión se realiza a la derecha y al momento de sostener al hilo en posición vertical las espirales concuerdan con la letra S y, la torsión Z, si la torsión se realiza a la izquierda y la dirección de las espirales coinciden con la letra Z (Skinkle, 1949, pp. 65-66). A continuación en la Figura 1.7 se muestran estos tipos de torsión.



**Figura 1.7.** Torsión del hilo (A) en S, (B) en Z  
(Hollen, 2002, p. 158)

La calidad de la tela obtenida puede variar según la torsión, puesto que, una torsión ligera produce telas de superficie suave, mientras que los hilos muy torcidos son resistentes a la abrasión, menos propensos a ensuciarse y arrugarse, sin embargo, se encogen más, disminuyen su resistencia por el efecto cortante entre las fibras que se disponen en ángulos rectos al eje del hilo y forman tejidos de superficie dura (Hollen, 2002, pp. 136, 158).

#### 1.4.2 TÍTULO

Los hilos se designan según su número o título. El título de un hilo está relacionado con su grosor y es la relación que existe entre el peso y la longitud del hilo. Los sistemas de numeración se clasifican en directo e inverso. Los sistemas directos expresan el peso de una determinada longitud de hilo. A mayor número más grueso es el hilo. Dentro de este sistema se encuentra el Tex, el mismo que es el más usado y se define como el peso en gramos de 1 000 m de hilo, y el denier (d), definido como el peso en gramos de 9 000 m de hilo (Red Textil Argentina, 2010; Sunat, 2002).



Los sistemas inversos indican cuanto mide un determinado peso de hilo. A mayor número más delgado es el hilo. Este sistema lo conforman el número métrico (Nm), el cual indica la longitud en metros de un gramo de hilo, y el número inglés (Ne) que es el número de madejas de 840 yardas que pesan una libra (Red Textil Argentina, 2010).

### **1.4.3 PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS HILOS**

Debido a que muchos materiales están sujetos a fuerzas o cargas cuando están en servicio, es necesario conocer las características del material para determinar las aplicaciones en las que los esfuerzos a los que se le someta no sean demasiados y, por lo tanto, no se fracture. El comportamiento mecánico está determinado por la deformación del material ante una fuerza o carga aplicada (García, 2001).

La tenacidad se define como la resistencia de un material ante esfuerzos de tensión y compresión, antes de romperse. En la mayoría de materiales se calcula como el cociente entre la carga aplicada y el área de la sección transversal o densidad lineal para materiales textiles, debido a la irregularidad de su sección transversal y se la expresa en (cN/Text o gf/d) (Marsh, 1958, pp. 61-62; Netto, 2007).

El hilo al ser sometido a una fuerza de tensión unidireccional, se estirará hasta un cierto límite, hasta su ruptura, este estiramiento se conoce como elongación de un hilo y es el cociente entre el cambio de longitud del hilo en la dirección de la fuerza aplicada y la longitud inicial (García, 2001).

### **1.4.4 HILADO ARTESANAL**

Se conoce como hilo artesanal al elaborado generalmente con fibras textiles naturales propias de la región donde se los fabrica, para lo cual se usan métodos

de hilatura manual mediante equipos caseros o artesanales exentos de aplicación tecnológica, como usos y ruecas (Red Textil Argentina, 2010).

La continua modernización de las industrias textiles que compiten no sólo en precio, sino también en las distintas calidades de los productos obtenidos, han originado la desaparición paulatina de los talleres artesanales locales. Pero, a pesar de esta competencia, estas labores caseras se mantienen debido a que constituyen una fuente de trabajo para las comunidades sobre todo indígenas, cuyos productos son muy apreciados en el mercado tanto nacional como extranjero (Serrablo, 1997).

Para la obtención de fibras aptas para ser hiladas y tejidas artesanalmente se realizan varios procesos que hacen de ello una de las ocupaciones más laboriosas de los artesanos, que van desde la extracción de la fibra hasta la hilatura y su posterior uso en artesanías (Serrablo, 1997).

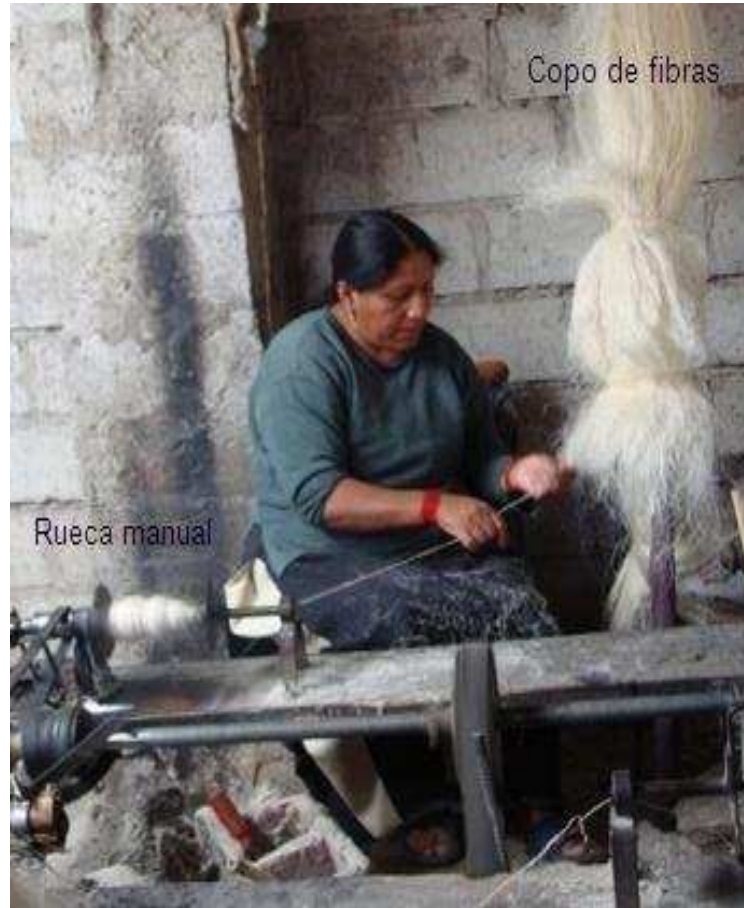
Las fibras extraídas mediante descortezado o enriado, se las lava y seca, para luego pasar al proceso de agramado en el que se utiliza la agramadora, que está constituida por un cuchillo inferior fijo de tres hojas y un cuchillo superior móvil de dos hojas en el cual los restos de material no fibroso son triturados entre los dos cuchillos, al introducirse las hojas del cuchillo superior entre los espacios de las hojas del cuchillo inferior. Luego se continúa al proceso de espadillado en el que se utiliza el banco de espadar, el mismo que está provisto de una tabla fija vertical con una ranura horizontal donde se coloca el material agramado en manojos, aquí las partes no leñosas resquebrajadas de las fibras son desprendidas mediante golpes sucesivos con la espadeta. Con el fin de separar las fibras entre sí y a la vez desenredarlas y peinarlas se realiza la operación de rastrillado o escarmenado que consiste en hacer pasar varias veces los manojos de fibras entre púas o clavos afilados con las puntas en alto, fijados verticalmente sobre un banco. De esta forma se separa la estopa (fibras cortas y muy delgadas) de las fibras, las cuales son destinadas a tejidos de menor calidad (Gürtler y Kind, 1947, p. 117; Sánchez, 2007).

En la Figura 1.8 se muestran la agramadora y escarmenadora usadas en los pasos previos a la elaboración del hilo artesanal.



**Figura 1.8.** (A) agramadora y (B) escarmenadora  
(Espluga, 2008)

Una vez que las fibras están estiradas y peinadas, se las suaviza con cera y luego se forman los copos o bultos de fibras que son amarrados en una columna a la altura de donde se encuentra la rueca, la misma que consta de una muesca en la que se fija la punta de la fibra para darle torsión la que dependerá de la agilidad del artesano, debido a que mientras gira la muesca, él con sus dedos índice y pulgar apretará y halará las fibras del copo, para alimentarlas a la rueca (Sánchez, 2007). En la Figura 1.9 se muestra el copo de fibras atado cerca de la rueca para la obtención de hilo.



**Figura 1.9.** Copo de fibras a ser hilados en la rueca

El hilo obtenido puede ser medianamente fino, grueso o muy grueso, lo cual depende de la calidad de la fibra, de la destreza del artesano y de su utilización para las diferentes clases de tejidos. Además, este no es muy uniforme en toda su sección transversal, debido a que su elaboración depende de la habilidad de los trabajadores. El hilo menos homogéneo y grueso se denomina comúnmente hilaza (Sánchez, 2007; Serrablo, 1997).

Una vez terminado el hilo, se lo pasa de la rueca al demore, el cual, es un pequeño aparato en forma de cruz, con el fin de obtener madejas y colocarlas en la devanadera para luego hacer ovillos (Gürtler y Kind, 1947, p. 117; Serrablo, 1997). Las ilustraciones del demore y la devanadera se muestran en la Figura 1.10.



**Figura 1.10.** Obtención de la madeja de hilo mediante (A) el demore y (B) la devanadera

#### 1.4.5 TEJIDO ARTESANAL

Un tejido es una estructura formada por el entrecruzamiento de hilos. Existen diferentes tipos de tejido, entre los más comunes se tienen tejido de punto, técnicas de aglutinamiento y tejido plano o de calada (Jinsona, 2008; Sunat, 2002).

*Tejido de punto:* Consiste en hacer pasar una lazada de hilo sobre una aguja y luego a otra aguja, para formar mallas, bucles o puntos. Los ligamentos básicos de este tipo de tejido son: jersey, franela, franela perchada, interlock y pique. Las telas de tejido de punto son difíciles de manejar debido a que se resbalan al cortarlas y se estiran fácilmente, pero a pesar de estos inconvenientes se adaptan muy bien a la silueta (Jinsona, 2008; Sunat, 2002).

*Tejido por aglutinamiento de fibras:* Son tejidos formados por fibras de lana o de pelo de animales que no han sido sometidos a procesos de hilatura y para lograr que las fibras se adhieran se las humedece y luego se las somete a presión y calor. Con este tejido se obtienen el interlón, fieltro, etc (Jinsona, 2008).

*Tejido de calada:* Es el más común de los tejidos y consiste en entrelazar hilos longitudinales denominados urdimbre con hilos transversales llamados trama, mediante el empleo de un telar. Este entrecruzamiento normalmente se lo realiza formando un ángulo recto. Los hilos de urdimbre son más fuertes y torsionados que los de trama, porque estos requieren de mayor resistencia por ser el componente básico de un tejido, por lo tanto, deben resistir las altas tensiones del telar y la abrasión provocada por la lanzadera al pasar de un lado a otro (Hollen, 2002, pp. 159, 182; Santander, 2000; Sunat, 2002).

Un ligamento es la forma de entrecruzarse en cada pasada los hilos de urdimbre y trama para formar un determinado tejido, esta forma de entrecruzamiento se puede representar en un papel cuadriculado, donde los signos que allí se representen tienen un significado. Los ligamentos empleados para la creación de este tejido son los que originan las diferentes telas como sarga, tafetán, satén, etc. (De Perinat, 2007; Sunat, 2002).

Estos tejidos se caracterizan porque sus hilos son más rectos con menos ondulaciones y se estiran menos en la dirección de la urdimbre (Jinsona, 2008).

El telar está conformado de un mecanismo que permite separar los hilos de urdimbre en dos capas entre las cuales pasa el hilo de trama, el espacio que los hilos de urdimbre forman se denomina calada (Brahic, 1998, p. 8). En la Figura 1.11 se presenta la calada que forman los hilos de urdimbre.



**Figura 1.11.** Calada formada por los hilos de urdimbre

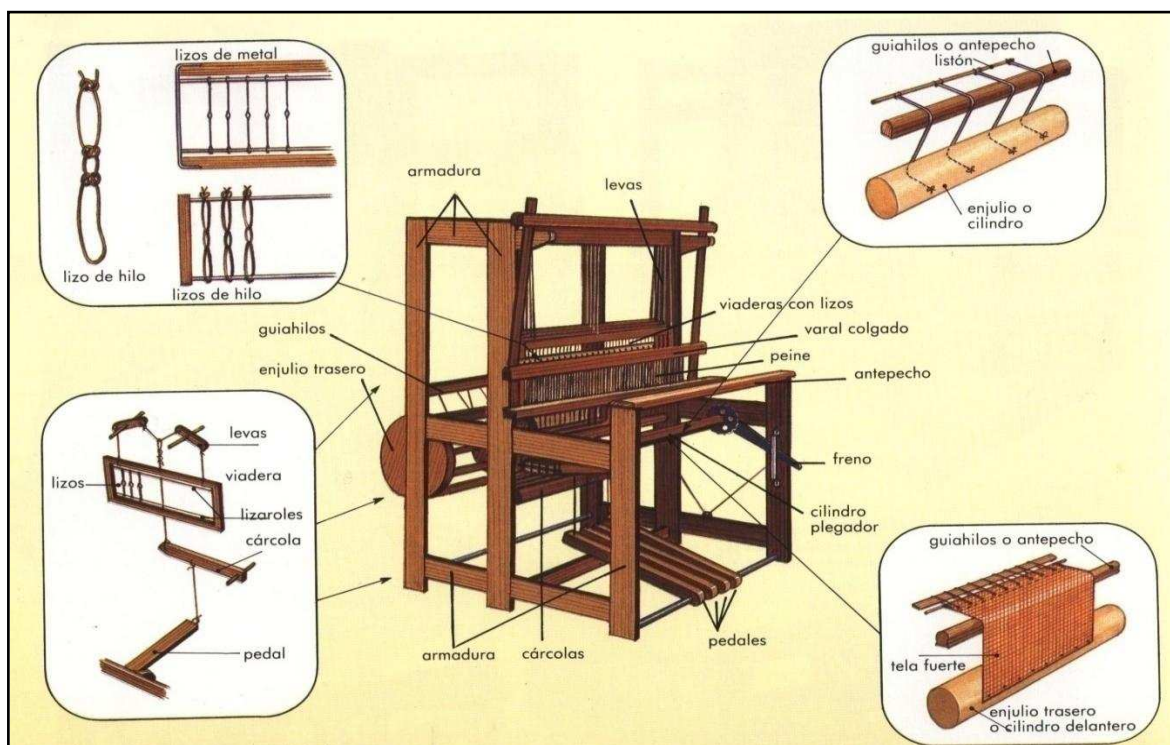
Para poner la urdimbre en el telar se necesita de un urdidor, el cual es un marco de madera que generalmente mide 1,50 x 1,60 m que contiene cada 15 cm un taco, en los que los hilos son colocados arriba y abajo de cada uno de ellos hasta completar todo el recorrido del marco y luego regresar al primer taco y así sucesivamente hasta obtener la cantidad de hilos de urdimbre deseados. El largo del tejido está condicionado a la distancia entre las columnas de los marcos y el ancho depende de las veces que el hilo le da vuelta a las mismas. Una vez preparada la urdimbre, se asegura el cruce con un lazo, para pasarla al telar, en el cual se efectúa la elaboración del tejido, la urdimbre preparada se enrolla en el enjulo trasero el cual consta de un freno que regula la tensión de la urdimbre y facilita la apertura de la calada y la regularidad del tejido. Los hilos de urdimbre que salen del enjulo trasero, descansan sobre el guía hilos (barra de madera) antes de pasar entre los lizos, mientras que el tejido recién hecho antes de enrollarse en el cilindro plegador descansa en la barras de antepecho (Brahic, 1998, pp. 34-37; Vilatuña, 2006). A continuación en la Figura 1.12 se muestra un urdidor artesanal.



**Figura 1.12.** Urdidor artesanal en el que se colocan los hilos de urdimbre antes de pasarlos al telar

Los hilos de urdimbre son la parte larga del tejido y se disponen en forma paralela, para ser cruzados por los hilos de la trama en dirección transversal. La

trama se alimenta por los extremos del telar, mediante la lanzadera se las entrecruza con la urdimbre en ángulo recto, la cual debe estar tensada. El peine que se encuentra en el varal, separa los hilos de urdimbre y da compactación al tejido al apretar la trama, este está formado de dientes y claros, por estos últimos pasan los hilos de urdimbre previamente enlazados en las viaderas o marcos, la finura del tejido dependerá del ancho entre dos dientes. Se logran diferentes dibujos y texturas al cambiar el número de hilos de la urdimbre y al modificar la secuencia con la que se levantan o se bajan los marcos que están formados de lizos en los que están contenidos los hilos de urdimbre. Los marcos que abren la urdimbre son manejados por las levas, en las que están colgadas las cárcolas unidas mediante cuerdas o cadenas a los pedales; en los telares de mesa los marcos son manejados con las manos. El tejido formado se va enrollando en el cilindro plegador, el cual consta de un freno (rueda de dientes) y no debe ser muy grande para poder colocar más tejido en él como en los casos en los que se tejen alfombras o piezas de lana gruesa. En la Figura 1.13 se muestra un telar horizontal plano con sus partes (Brahic, 1998, pp.34-35, 37; Vilatuña, 2006).



**Figura 1.13.** Telar horizontal plano con sus partes  
(Brahic, 1998, p. 32)



## **2. PARTE EXPERIMENTAL**

Las fibras naturales han sido parte fundamental de la sociedad desde los orígenes de la civilización, debido a que con ellas se forman tejidos, cuerdas e hilos para la fabricación de textiles. A diferencia de las fibras naturales que producen los agricultores, las fibras sintéticas se producen en masa y es por esto que durante la última mitad del siglo, las fibras sintéticas han alcanzado un gran auge, debido principalmente a los costos más bajos, resistencias más altas, longitudes y colores uniformes, lo cual afecta a las personas que dependen de la producción y procesamiento de las fibras naturales, es por ello que es importante enfatizar en sus beneficios, que dependen del uso al que se las destine, por ejemplo, unas brindan confort en las prendas; otras, por su resistencia mecánica y bajo costo, son atractivas para las industrias automotriz o de construcción. Además el consumo de energía para su producción es mucho menor que para las sintéticas y se producen emisiones neutras de dióxido de carbono, también sus productos no contaminan ya que son 100 % biodegradables.

El cultivo y comercialización de otro tipo de fibras naturales diferentes a las comúnmente utilizadas como el algodón, es una alternativa para crear hilados y tejidos a partir de estas fibras. Una de estas opciones puede ser la utilización de la fibra extraída de la planta de formio, que a pesar de que, en el país no es muy conocida, se pueden obtener de ella fibras aptas para su aplicación artesanal.

Con el fin de contribuir al desarrollo del sector textil, en la presente investigación se busca tratar a esta fibra mediante diferentes procesos, con el fin de otorgarle características como suavidad y facilidad de hilado que, debido a su rigidez y poca flexibilidad inicial, hacen que el proceso de hilatura sea complicado.

## **2.1 OBJETIVOS**

### **2.1.1 OBJETIVO GENERAL**

Elaborar artesanalmente un hilo a partir de la fibra de formio (*Phormium tenax*).

### **2.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinar las mejores condiciones del proceso de descruce alcalino de las fibras de formio.
- Determinar las mejores condiciones del proceso de blanqueo y suavizado seleccionados.
- Elaborar hilo artesanal a partir de la fibra de formio descruceada, blanqueada y suavizada.
- Evaluar las características mecánicas: tenacidad y elongación del hilo obtenido y su facilidad de tisaje.

## **2.2 MATERIALES Y REACTIVOS**

En la presente investigación se utilizó como materia prima las hojas verdes de formio proporcionadas por la Dirección Metropolitana de Parques y Jardines del Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, cultivadas en el sector de Parcacacu, vía a la Mitad del Mundo.

La cosecha de las hojas se realizó según los procedimientos descritos por Warwick (2000, p.471) y Brescia (1969, p.251), con la finalidad de obtener una muestra de características semejantes y de buena calidad.

Para la elaboración del hilo artesanal de formio se acondicionó a la fibra para tal fin, mediante procesos de descruce, blanqueo y suavizado, en donde se

seleccionaron las fibras tratadas bajo las condiciones con las que se obtuvieron los mejores resultados de cada proceso.

Los reactivos utilizados en cada proceso de tratamiento de la fibra se detallan en las Tablas 2.1, 2.2 y 2.3. Las fichas técnicas del detergente, humectante, enzitem ácido y suavizante se presentan en el Anexo I.

**Tabla 2.1.** Reactivos empleados en el descruce de la fibra de formio

<b>Reactivo</b>	<b>Proceso</b>
Hidróxido de sodio técnico	Descruce
Detergente biodegradable Concentración: 10 % Casa comercial: T. Carrión	Descruce
Humectante Concentración: 10% Casa comercial: Ciba	Descruce
Ácido acético Concentración: 10 % Casa comercial: J.T. Baker	Neutralización

**Tabla 2.2.** Reactivos empleados en el blanqueo de la fibra de formio

<b>Reactivo</b>	<b>Proceso</b>
Hipoclorito de sodio Concentración: 5 % Cloro activo Casa comercial: Casa de los químicos	Blanqueo con hipoclorito de sodio
Carbonato de Sodio Pureza: 99.9 % Casa comercial: Merck	Blanqueo con hipoclorito de sodio
Tiosulfato de sodio Pureza: 99 % Casa comercial: Merck	Tratamiento anticloro
Peróxido de hidrógeno Concentración: 50 % Casa comercial: Casa de los químicos	Blanqueo con peróxido de hidrógeno
Silicato de sodio en pellets Pureza: 99 % Casa comercial: J.T. Baker	Blanqueo con peróxido de hidrógeno
Hidróxido de sodio anhidro en pellets Pureza: 97 % Casa comercial: J.T. Baker	Blanqueo con peróxido de hidrógeno
Ácido acético Concentración: 10 % Casa comercial: J.T. Baker	Neutralización
Humectante Concentración: 10 % Casa comercial: Ciba	Blanqueos con hipoclorito de sodio y con peróxido de hidrógeno

**Tabla 2.3.** Reactivos empleados en el suavizado de la fibra de formio

<b>Reactivo</b>	<b>Proceso</b>
Enzitetex ácida Casa comercial: Dyetex	Suavizado con celulasa ácida
Ácido acético Concentración: 10 % Casa comercial: J.T. Baker	Suavizado con celulasa ácida
Hidróxido de sodio técnico	Suavizado con sulfito de sodio-hidróxido de sodio
Sulfito de sodio analítico Casa comercial: J.T. Baker	Suavizado con sulfito de sodio-hidróxido de sodio
Humectante Concentración: 10 % Casa comercial: Ciba	Suavizado con sulfito de sodio-hidróxido de sodio
Suavizante no iónico concentración K Casa comercial: Dyetex	Suavizados con celulasa ácida y con sulfito de sodio-hidróxido de sodio

### 2.2.1 EQUIPOS

Para la extracción de las fibras de formio de la hoja se utilizó una descortezadora de cabuya, acondicionada para este fin, de 16 aspas, motor de 5 HP, velocidad lineal de desfibrado de 66 cm/s y capacidad de 453 hojas/h. Para el proceso de peinado se usó una escarmenadora rectangular de 10 clavos a lo ancho, por 15 clavos a lo largo.

En el proceso de descrude se utilizó la plancha de calentamiento Thermolyne Cimarec 3 y vasos de precipitación de 100 mL. Para los procesos de blanqueo y suavizado se empleó el Launder-O-Meter ATLAS, modelo LHD-HPT, equipo en el que se puede regular la temperatura desde la temperatura ambiente hasta la temperatura de ebullición del agua, además dispone de frascos de acero inoxidable con capacidad de 500 mL. Para el secado de las fibras se utilizó la estufa marca SDL, con temperatura máxima de 240 °C.

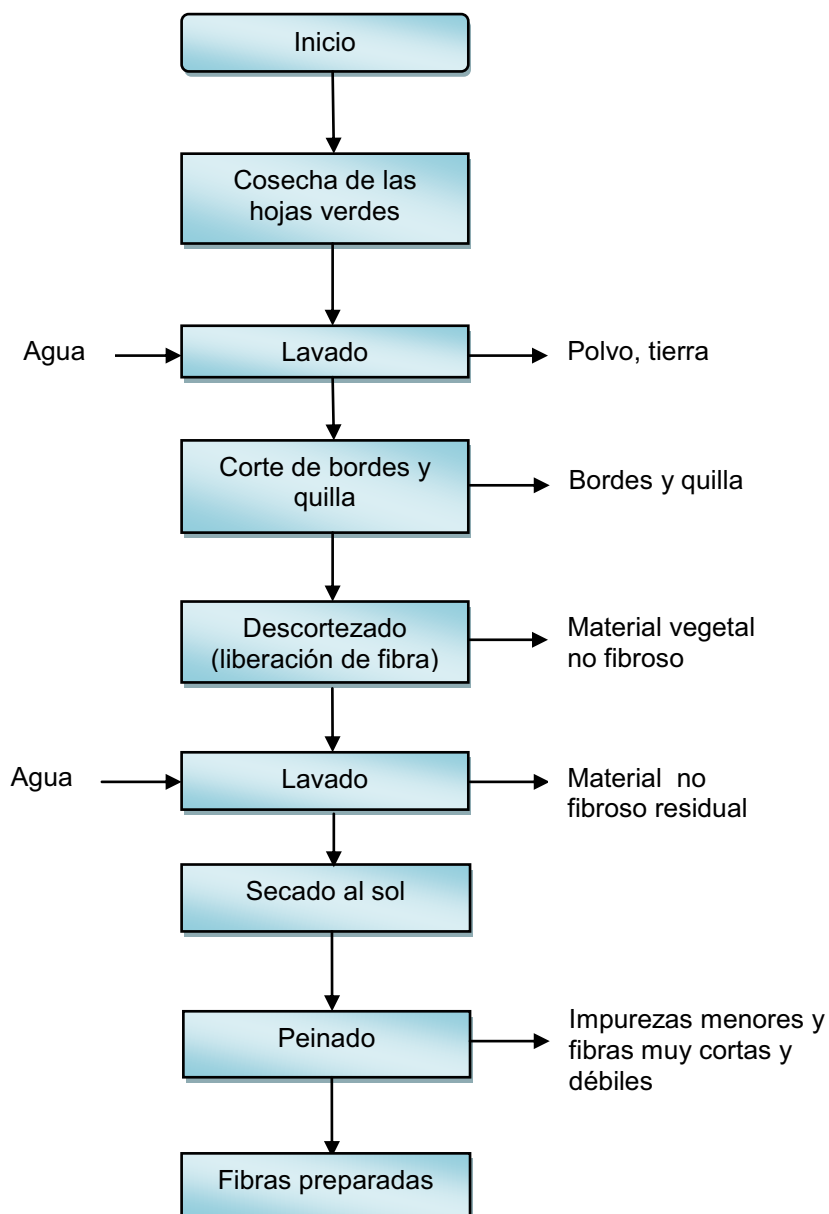
Para la determinación del título se empleó el medidor de longitud o mallímetro marca Shirley de 61 cm de capacidad, y la balanza analítica KERN ABS con capacidad mínima de 0,0001 g y máxima de 220 g.

La determinación de las propiedades mecánicas del hilo se realizó de acuerdo con los parámetros y procedimientos descritos en la norma ASTM D 2256-97, para lo cual se utilizó la máquina de ensayos universales marca Lloyd Instruments, modelo 1 000 s.

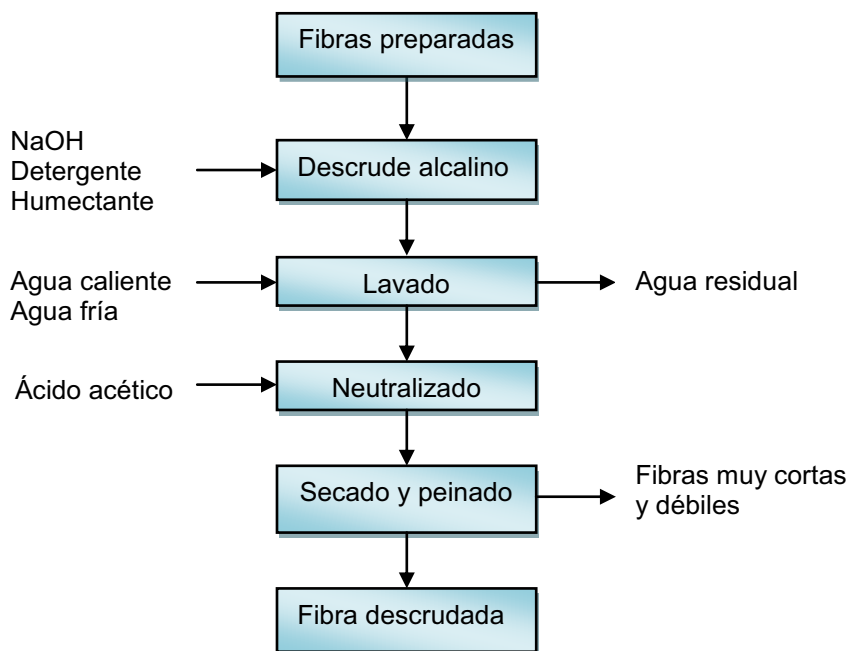
En la elaboración del hilo artesanal de formio se utilizó una hiladora eléctrica marca SDL ATLAS, modelo-ESP2 y para el tejido se trabajó con un telar manual artesanal de madera de cuatro marcos con ancho máximo de tejido de 39,5 cm, disponibles en el Centro Textil Politécnico.

### 2.2.2 ESQUEMAS DE LA FASE EXPERIMENTAL

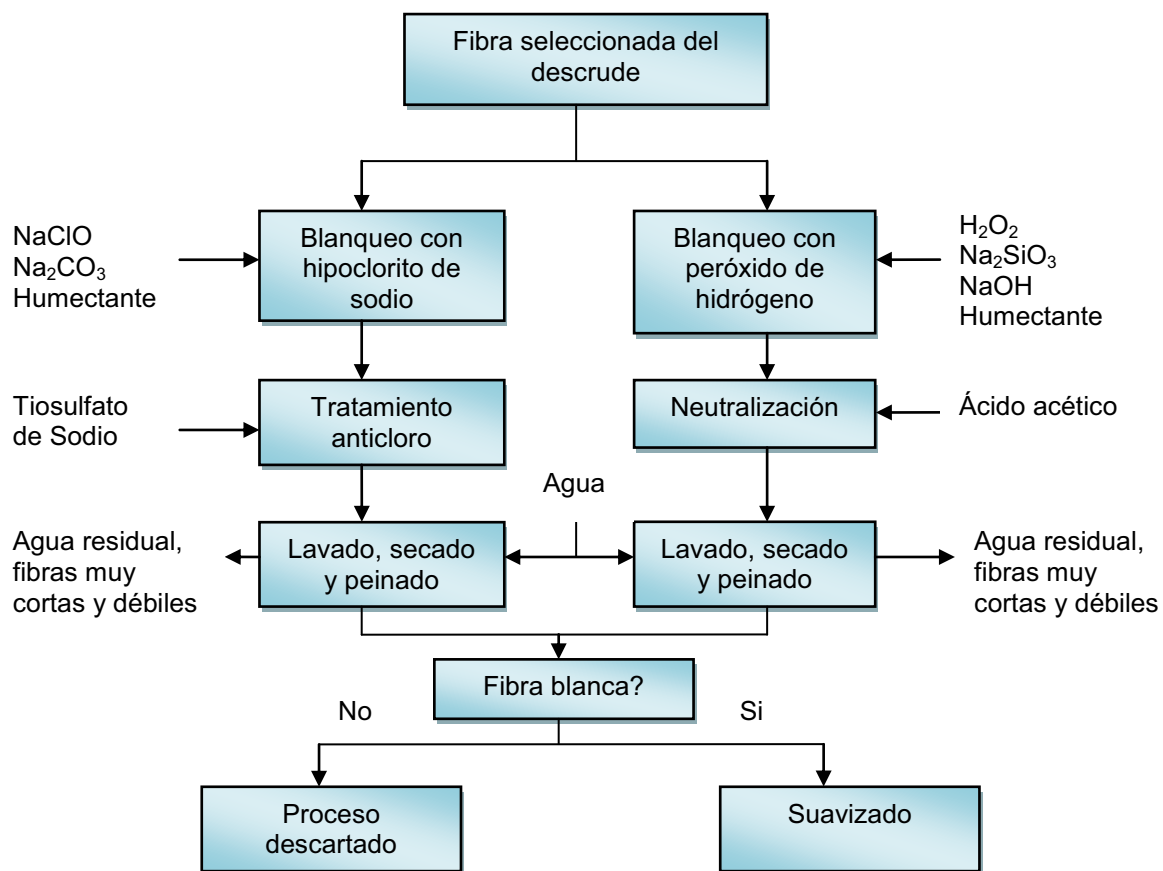
La experimentación del presente proyecto se realizó en varias etapas, tal como se indica en las Figuras 2.1, 2.2, 2.3, 2.4, 2.5 y 2.6.



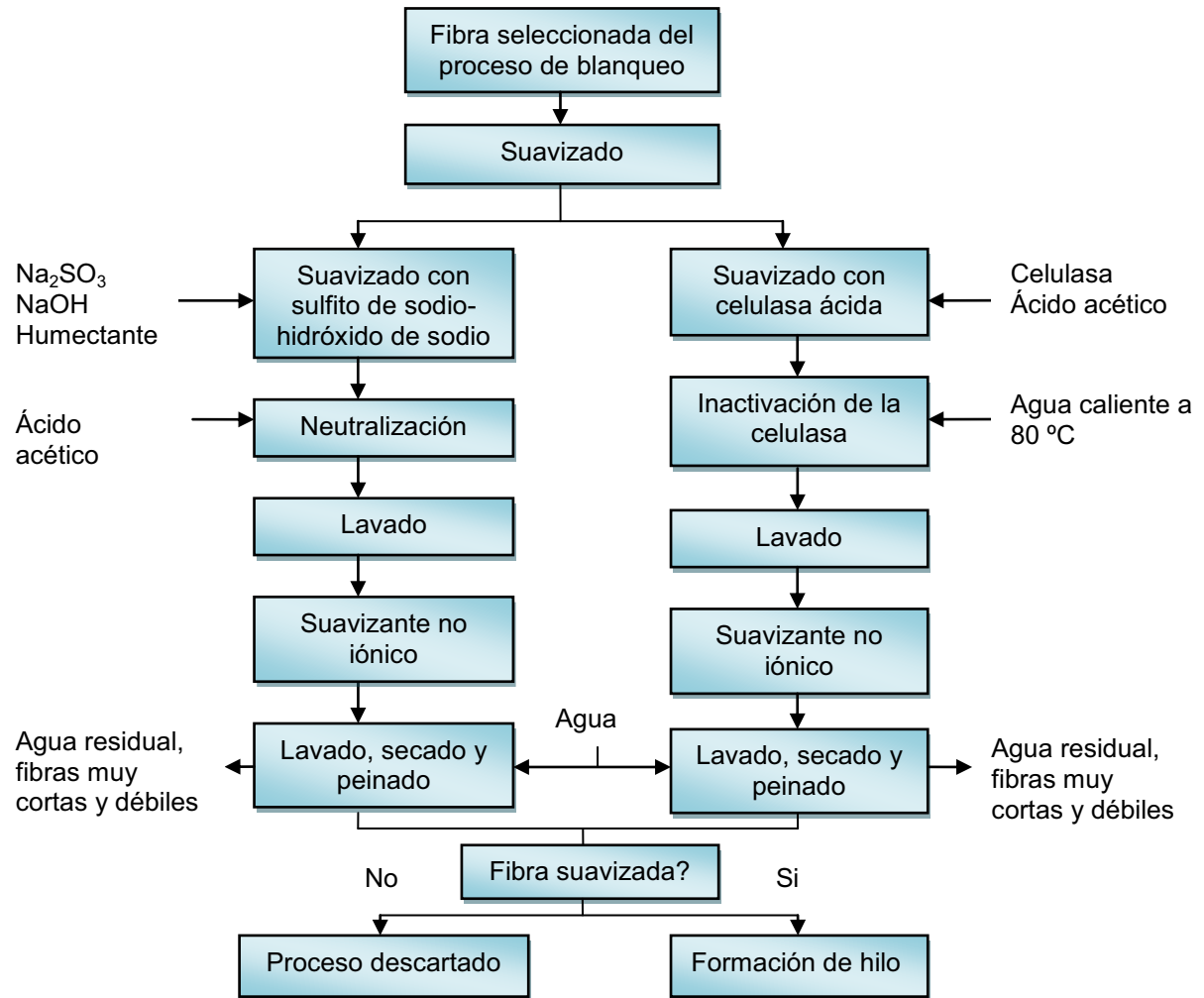
**Figura 2.1.** Diagrama de flujo de preparación de las fibras de formio antes de ser procesadas



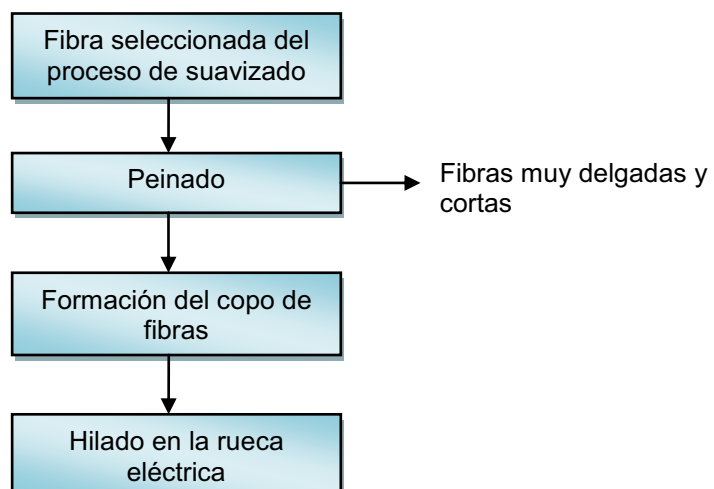
**Figura 2.2.** Diagrama de flujo del proceso de descruce alcalino de las fibras de formio



**Figura 2.3.** Diagrama de flujo del proceso de blanqueo de las fibras de formio

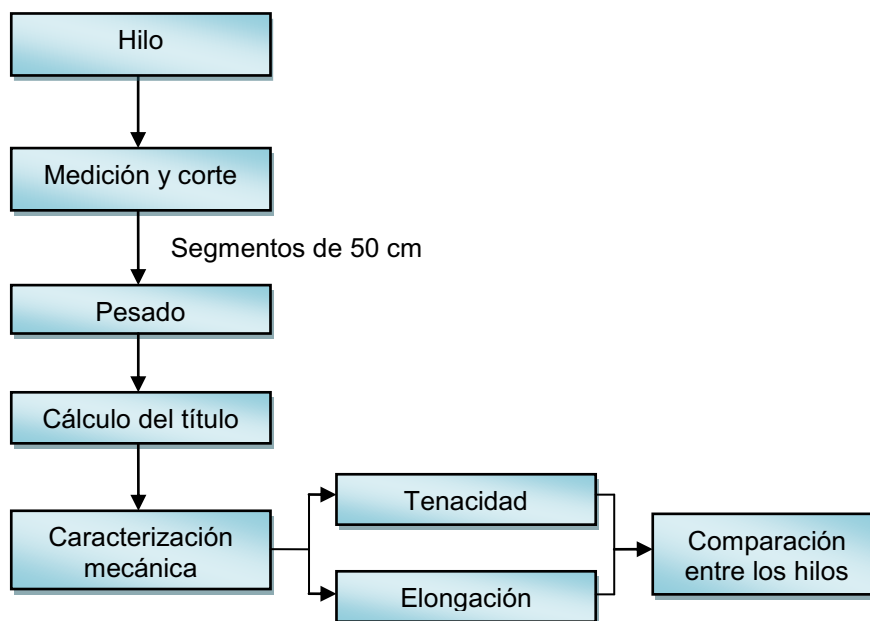


**Figura 2.4.** Diagrama de flujo del proceso de suavizado de las fibras de formio



**Figura 2.5.** Diagrama de flujo del proceso de hilado





**Figura 2.6.** Diagrama de flujo de la caracterización mecánica del hilo de formio y cabuya

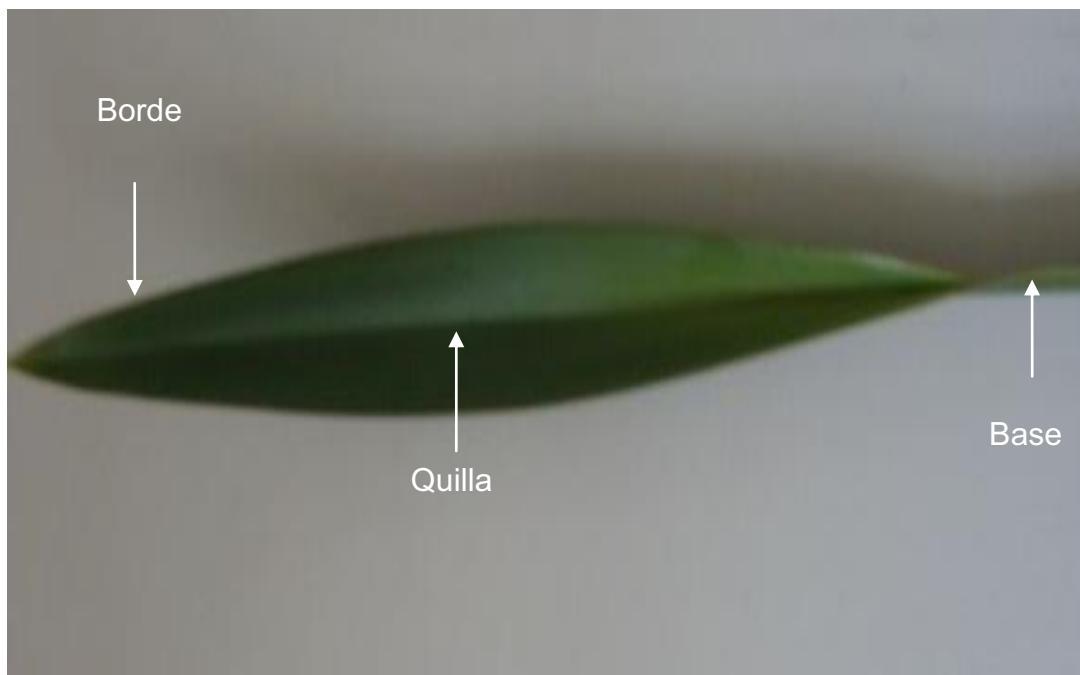
### 2.3 DETERMINACIÓN DE LAS MEJORES CONDICIONES DE DESCRUDE CON HIDRÓXIDO DE SODIO

Previo al descrudado, se realizó la extracción de las fibras contenidas en las hojas de formio, para lo cual se cosecharon las hojas maduras y verdes de forma manual según los procedimientos sugeridos por Warwick (2000, p. 471) y Brescia (1969, p. 251), los cuales se encuentran descritos en la revisión bibliográfica.

Las características de las fibras obtenidas de las hojas de formio dependen de factores naturales como clima, humedad y suelo, es por ello que, es preferible realizar su cosecha de un mismo lugar, en donde se garantice que estos factores sean los mismos para todas las plantas, con el fin de obtener fibras de características semejantes y uniformes.

En la cosecha de las hojas se procuró no cortar las hojas centrales del matorral, para asegurar la formación de nuevas hojas, la continuidad de la actividad fotosintética y el almacenamiento de reservas en los rizomas. Las hojas fueron cortadas en bisel separándolas de las bases, el corte fue de adentro hacia afuera y de abajo hacia arriba. Se efectuó esta separación porque si bien las bases

tienen una cantidad considerable de fibras, estas son de mayor grosor y contienen gran cantidad de material no fibroso que la hoja, lo cual hizo que la extracción de las fibras con la cardadora manual resultara muy complicada, por lo que las bases fueron descartadas. En la Figura 2.7 se muestra la hoja de formio con las partes que fueron removidas.



**Figura 2.7.** Hoja de formio con las partes que fueron removidas

Una vez cosechadas las hojas, es recomendable extraer inmediatamente las fibras, porque la hoja luego de ser separada de la planta pierde humedad lo que dificulta la extracción y liberación de las fibras. Si no se puede procesar inmediatamente la hoja, se debe colocar la parte de la hoja que fue separada de la base en agua, tal que se encuentre sumergida la quinta parte, en un lugar ventilado y con luz moderada, además, hay que evitar que durante este tiempo las hojas estén expuestas al sol.

Luego de cosechadas las hojas, se las lavó para quitar impurezas, posteriormente se eliminaron los bordes, con un corte de 5 mm de ancho, y la quilla de la sección central, obteniéndose dos mitades de dimensiones similares, tal como se aprecia en la Figura 2.8.



**Figura 2.8.** Hoja de formio sin bordes ni quilla

Una vez realizado el procedimiento anterior, la hoja quedó lista para la extracción mecánica de las fibras con una descortezadora de cabuya, adaptada para este fin, sin embargo, las fibras obtenidas luego de este proceso tenían restos de material no fibroso y la clorofila desprendida durante el proceso les dio una coloración verdosa, por lo que, se realizó un lavado en chorro durante 5 min, obteniéndose fibras más claras y con menor cantidad de impurezas adheridas.

Las fibras luego del descortezado y lavado estaban enredadas, tal como se puede observar en la Figura 2.9. Con la finalidad de oxidar parte de las sustancias cromóforas que quedaron todavía en las fibras se las expuso al sol hasta que estuvieron secas.



**Figura 2.9.** Apariencia de las fibras de formio luego del descortezado

Una vez secas las fibras, se hizo necesario desenredarlas y quitar los restos de impurezas que aún quedaron, dado que estas pueden interferir en los posteriores procesos, para lo cual se utilizó una escarmenadora, con la que, también se eliminaron fibras muy cortas o muy débiles. La fibra obtenida después de esta operación se muestra en la Figura 2.10.



**Figura 2.10.** Apariencia de las fibras de formio peinadas

La fibra cruda limpia, peinada y paralelizada quedó lista para los siguientes procesos. Con el fin de garantizar la reproducibilidad de los resultados, cada ensayo fue realizado con su respectiva paralela.

La fibra de formio, es poco flexible y rígida, lo que dificulta el proceso de hilado artesanal, debido a que las fibras no se cohesionan fácilmente y por lo tanto, se resbalarán unas sobre otras, lo que originará un hilo de muy baja calidad, por lo que, fue necesario realizar diferentes tratamientos sobre estas fibras, para conferirles características como flexibilidad, facilidad de cohesión y suavidad. El primero de estos procesos fue el descruce, con el cual se otorgó a las fibras mayor hidrofiliadad, al realizar una saponificación de las grasas y ceras presentes en las fibras.

Para este tratamiento se pesaron 0,5 g de fibras y se las colocó en vasos de precipitación con un volumen de baño de 50 mL, debido a que esta cantidad de solución tapaba completamente a las fibras y de esta manera se garantizó una acción uniforme de los reactivos sobre las mismas.

Además, antes de sumergir las fibras en los baños de descruce se realizó un crucero de las mismas, es decir, envolverlas tal que formen un ocho, como se muestra en la Figura 2.11, para que no se enreden durante el proceso y de esta manera permitir que los reactivos actúen uniformemente en toda la superficie de la fibra.



**Figura 2.11.** Fibra de formio en crucero

Se realizaron pruebas preliminares de descruce a temperatura ambiente promedio de 15 °C, con el fin de dar una idea inicial del proceso. Las condiciones de descruce a esta temperatura se muestran en la Tabla 2.4. Además se efectuaron ensayos a temperatura de ebullición, cuyas condiciones se muestran en la Tabla 2.5. En ambos casos, las pruebas se efectuaron a tiempos de 30 min y 60 min con agitación constante, para permitir que los reactivos de descruce ingresen uniformemente y con mayor facilidad en las fibras.

**Tabla 2.4.** Variación de los parámetros de descruce con hidróxido de sodio a temperatura ambiente

N° Ensayo	NaOH [g/L]	Detergente [g/L]	Humectante [g/L]	Tiempo (min)
1	1	0	0	30
2		1	1	
3	2	0	0	
4		1	1	
5	1	0	0	60
6		1	1	
7	2	0	0	
8		1	1	

**Tabla 2.5.** Variación de los parámetros de descruce con hidróxido de sodio a temperatura de ebullición

N° Ensayo	NaOH [g/L]	Detergente [g/L]	Humectante [g/L]	Tiempo (min)
9	1	0	0	30
10		1	1	
11	2	0	0	
12		1	1	
13	1	0	0	60
14		1	1	
15	2	0	0	
16		1	1	

Luego de cada ensayo según lo recomendado por Ward (1955, p. 157) se lavaron las fibras con agua caliente con el fin de evitar que las grasas emulsificadas se aglomeren y después con agua fría, posteriormente se efectuó una neutralización con ácido acético al 10 %, hasta que el pH sea cercano a 7. Luego las fibras se secaron y se las peinó con una carda de púas medianas de 0,7 cm de alto para desenredarlas y poder apreciar los cambios que sufrieron al final del proceso.

Una vez obtenidas las condiciones a las cuales el proceso de descruce presentó los mejores resultados, se procedió a disminuir a estas condiciones la cantidad de agua utilizada con la finalidad de evitar el gasto innecesario de este recurso al momento de realizar este tratamiento con mayor cantidad de fibra, se redujo por tanto el volumen de baño de descruce y se determinó una razón licor apropiada de 1:25, con la que se obtuvieron los mismos resultados que con la razón licor original, esta razón licor se utilizó en los siguientes procesos de blanqueo y suavizado con celulasa ácida.

Para determinar las mejores condiciones del proceso de descruce se evaluó la apariencia (color) de las fibras mediante una escala cualitativa y se tomó como referencia a la fibra de formio extraída mecánicamente. Esta escala se muestra en la Tabla 2.6.

**Tabla 2.6.** Escala cualitativa para la evaluación del color de las fibras descruadas

<b>Valoración</b>	<b>Interpretación</b>
Crema con zonas verdosas	Color original de la fibra de formio extraída mecánicamente con zonas verdosas
Crema con menos zonas verdosas	Fibra descruada con menos zonas verdosas que la fibra de formio extraída mecánicamente
Crema 1	Fibra descruada con un color crema ligeramente claro
Crema 2	Fibra descruada con un color crema moderadamente más claro

Adicionalmente, se evaluó cualitativamente el desgaste por desprendimiento de fibrillas y la suavidad al tacto, luego de cada ensayo. Para el desgaste por desprendimiento de fibrillas se peinó cuidadosamente a las fibras con una carda de púas de 0,7 cm de alto, con lo cual, se apreció la cantidad de fibrillas

desprendidas. Con la finalidad de visualizar de forma más clara los resultados obtenidos para el desprendimiento de fibrillas y la suavidad al tacto a cada valoración cualitativa se asignó un valor numérico cuantitativo, para graficar en Excel, estos valores fueron numerados de forma ascendente del 0 al 3, donde el cero para ambos casos fue el peor resultado. Estos criterios se muestran en las Tablas 2.7 y 2.8.

**Tabla 2.7.** Escala cualitativa para la evaluación del desprendimiento de fibrillas (desgaste) luego de los procesos de descruce, blanqueo y suavizado

Valor de la variable	Valoración	Interpretación
3	Bajo	Se desprenden fibrillas en baja cantidad
2	Regular	Se desprenden fibrillas moderadamente
1	Alto	Se desprenden fibrillas en gran cantidad
0	Excesivo	Formación de pulpa, lo que no permite el paso de la carda

**Tabla 2.8.** Escala cualitativa para la evaluación de la suavidad al tacto de las fibras luego de los procesos de descruce y blanqueo

Valor de la variable	Valoración	Interpretación
0	Ceroso	Fibra sin remoción aparente de sus compuestos cerosos
1	Poco áspero	Fibra con ligera remoción de ceras
2	Regularmente áspero	Fibra moderadamente áspera
3	Áspero	Fibra áspera

## 2.4 DETERMINACIÓN DE LAS MEJORES CONDICIONES DE LOS PROCESOS DE BLANQUEO Y SUAVIZADO SELECCIONADOS

### 2.4.1 BLANQUEO

Una vez obtenidas las mejores condiciones del descruce con hidróxido de sodio, se descruce a estas condiciones gran cantidad de materia prima, con la que se realizaron ensayos de blanqueo por dos procesos: hipoclorito de sodio y peróxido



de hidrógeno, de los cuales se escogió aquel en el que se obtuvo fibras blancas y que menos las deterioró (sin alto desprendimiento de fibrillas).

#### **2.4.1.1 Blanqueo con Hipoclorito de Sodio**

Se pesaron 0,5 g de fibra descrudada para cada ensayo de blanqueo con hipoclorito de sodio, que consistió de baños acuosos con concentraciones de 2, 4, 6, 8 y 10 g/L de hipoclorito de sodio al 5 % de cloro activo, humectante 0,75 g/L y razón licor (peso de material/volumen de solución) de 1:25. El pH de cada solución se reguló entre 9,5 y 10,5 para lo cual se colocó 5 g/L de carbonato de sodio. Las soluciones preparadas fueron colocadas en los frascos de acero inoxidable del Launder-O-Meter, que a más de tener una agitación constante, permiten el contacto del baño con la fibra durante todo el proceso, en el cual se trabajó a temperatura ambiente y a diferentes tiempos.

Se realizaron pruebas preliminares de blanqueo a tiempo de 30 min y se varió la concentración de hipoclorito de sodio en valores de 2, 4, 6, 8 y 10 g/L, también se efectuaron ensayos a temperatura de 30 °C, con las concentraciones de hipoclorito de sodio anteriormente mencionadas.

Además, se varió el tiempo de blanqueo para determinar su influencia en el proceso, se trabajó a 60, 90, 120, 150 y 180 min. Las condiciones de este proceso se muestran en la Tabla 2.9.

**Tabla 2.9.** Variación de los parámetros en el blanqueo de fibra con hipoclorito de sodio a temperatura ambiente

N° de Ensayo	Concentración hipoclorito de sodio [g/L]	Tiempo (min)
17	2	60
18	4	
19	6	
20	8	
21	10	
22	2	90
23	4	
24	6	
25	8	
26	10	
27	2	120
28	4	
29	6	
30	8	
31	10	
32	2	150
33	4	
34	6	
35	8	
36	10	
37	2	180
38	4	
39	6	
40	8	
41	10	

Luego del blanqueo con hipoclorito de sodio y para asegurar que las fibras estén libres de los compuestos de cloro, se realizó un tratamiento anticloro para lo cual se utilizó 2 % sobre peso de fibra (spf) de tiosulfato de sodio. A continuación, se las lavó con agua fría y se las secó a temperatura ambiente, luego se procedió a desenredarlas con la carda, para poder evaluar de mejor manera sus características.

### 2.4.1.2 Blanqueo con Peróxido de Hidrógeno

En el blanqueo con peróxido de hidrógeno, se pesaron 0,5 g de fibra descrudada y se realizaron ensayos, cuyos baños estuvieron compuestos por soluciones acuosas de 3 mL/L y 5 mL/L de peróxido de hidrógeno (35 % y 50 %), 0,5 y 1 g/L de silicato de sodio, 0,75 g/L de humectante, razón licor de 1:25 y para regular el pH entre 10 y 11 se utilizó una solución de hidróxido de sodio 32 %. Estos baños se los colocó en frascos de acero inoxidable en el Launder-O-Meter. Además, según lo descrito por Escobar (1996, p. 49) en este tipo de proceso es recomendable trabajar a temperatura de ebullición, puesto que a esta temperatura se obtienen buenos resultados. Se varió el tiempo del proceso, entre 30 y 120 min, con intervalos de 30 min. Las condiciones a las cuales se realizó este proceso se muestran en la Tabla 2.10.

**Tabla 2.10.** Variación de los parámetros en el blanqueo de fibra con peróxido de hidrógeno a temperatura de ebullición

Nº ensayo	Peróxido de hidrógeno [%]	Concentración H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> [mL/L]	Silicato de sodio [g/L]	Tiempo (min)
42	35	3	0,5	30
43		5	1,0	
44		3	0,5	60
45		5	1,0	
46		3	0,5	90
47		5	1,0	
48		3	0,5	120
49		5	1,0	
50	50	3	0,5	30
51		5	1,0	
52		3	0,5	60
53		5	1,0	
54		3	0,5	90
55		5	1,0	
56		3	0,5	120
57		5	1,0	

Luego de finalizado el proceso de blanqueo se neutralizaron las fibras con ácido acético al 10 % hasta que el pH sea cercano a 7 y seguidamente se realizó un lavado con agua fría. Posteriormente, se las secó y peinó para evaluar los resultados.

#### 2.4.1.3 Selección del proceso de blanqueo y determinación de sus mejores condiciones

Para seleccionar el proceso de blanqueo más adecuado se evaluaron mediante escalas cualitativas las características que las fibras adquirieron después de cada ensayo, se tomó en cuenta el color (tono de blanco), desprendimiento de fibrillas y tacto. De acuerdo a estos resultados se escogió el proceso y se determinaron las mejores condiciones del proceso seleccionado. A continuación en la Tabla 2.11 se presentan las valoraciones para el color, en donde a cada valoración cualitativa se asignó un valor numérico cuantitativo, para graficar en Excel, los cuales fueron numerados de forma ascendente del -2 al 3, donde cero fue el valor del color crema referencial (fibra descrudada a las condiciones adecuadas), de tal forma que los valores de los colores amarillos correspondieron al -1 y -2 y los blancos al 1, 2 y 3. Las valoraciones para el desprendimiento de fibrillas y suavidad al tacto son iguales a las mostradas anteriormente en las Tablas 2.7 y 2.8.

**Tabla 2.11.** Escala cualitativa para evaluación del tono de blanco de las fibras

Valor de la variable	Valoración	Interpretación
-2	Crema amarillo 2	La fibra blanqueada adquiere un color moderadamente más oscuro que la fibra descrudada
-1	Crema amarillo 1	La fibra blanqueada adquiere un color ligeramente más oscuro que la fibra descrudada
0	Crema Referencial	Color de la fibra de formio descrudada a las mejores condiciones
1	Blanco 1	La fibra blanqueada tiende a blanco
2	Blanco 2	La fibra blanqueada adquiere un tono más blanco que el anterior
3	Blanco 3	La fibra blanqueada adquiere un color blanco brillante

Sin embargo, pese a que estas escalas ayudaron a descartar parámetros en los que los resultados no fueron favorables, porque no se obtuvieron un alto grado de blanco, existieron en el blanqueo con peróxido de hidrógeno algunas muestras cuyas características eran parecidas, es decir, presentaron la misma tonalidad de blanco, es por ello que en estas se determinó adicionalmente su tenacidad con el fin de decidir que parámetros eran los más adecuados para este proceso.

Para determinar la tenacidad de la fibra se usó la norma ASTM D 3822-96. Pero previamente se determinó el título de la fibra, para ello se cortaron segmentos de 20 cm de largo y se los pesaron. La tenacidad de cada segmento se calculó en función de la fuerza a la ruptura, cuyos datos se obtuvieron del equipo de ensayos universales Lloyd en el que se sometió a las fibras a ensayos de tensión, y del título de cada fibra.

Los datos del título y tenacidad de cada segmento de fibra se encuentran presentados en el Anexo II y cuyos valores fueron sometidos al análisis de varianza (ANOVA) y al proceso de diferencias menos significativas (LSD) de Fisher con la ayuda de los programas Statgraphics Plus y Microsoft Excel 2007, los valores del análisis estadístico se presentan en el Anexo III.

#### **2.4.2 SUAVIZADO**

Puesto que los procesos anteriores no estuvieron destinados a disminuir la rigidez de las fibras, se realizaron ensayos de suavizado en los que, se utilizó la fibra blanqueada con el proceso que presentó las mejores condiciones, estos ensayos se realizaron por dos métodos, de los cuales se seleccionó aquel en el que se obtuvo fibras más flexibles sin llegar a destruirlas. El primero de estos métodos fue un método químico que utilizó una solución de sulfito de sodio al 1 % sobre peso de fibra (spf) e hidróxido de sodio de 1 % a 10 % (spf) y el segundo fue un método enzimático que empleó una solución de celulasa ácida de 2 % a 8 % (spf).

#### 2.4.2.1 Suavizado con sulfito de sodio-hidróxido de sodio

Con el fin de otorgarle a la fibra flexibilidad y, por tanto, facilitar el proceso de hilatura, se realizó el suavizado con sulfito de sodio-hidróxido de sodio; debido a que este proceso es utilizado para la remoción de lignina, en la obtención de pulpa para hacer papel y además, es empleado en Filipinas para el suavizado de fibras de abacá (Guerrón, 2005, p. 114).

Para el análisis se pesaron 0,5 g de fibra blanqueada y se trabajó con sulfito de sodio al 1 % (spf) e hidróxido de sodio al 1 %, 3 %, 5 % y 10 % (spf), 0,5 % (spf) de humectante, temperaturas de 60 °C, 75 °C y ebullición, razón licor 1:40 y tiempos de 30 min a 2 horas, en intervalos de 30 min. Con este método se removió parte de la lignina presente en la fibra a la vez que permitió un ablandamiento de la misma. Las soluciones preparadas fueron colocadas en los envases de acero inoxidable del equipo Launder-O-Meter.

Debido a los resultados de pruebas preliminares, se consideró necesario el uso de rulimanes de acero de 6 mm de diámetro inicialmente, con el fin de golpear a la fibra y ablandarla para permitir el ingreso de los reactivos y hacerla más suave, puesto que las fibras obtenidas sin rulimanes todavía eran ásperas y poco flexibles, por lo tanto, se utilizaron diferentes cantidades de rulimanes, se tomó en cuenta que un exceso de ellos podría maltratar demasiado a la fibra, hasta incluso destruirla, mientras que una pequeña cantidad no produciría ningún efecto. Así, se varió la cantidad de rulimanes desde 5, 10, 20 hasta 30 rulimanes. Para establecer más puntos de contacto entre los rulimanes y las fibras, se utilizaron también rulimanes de 4 y 5 mm diámetro, se empleó la cantidad de rulimanes que pesaran igual a 10 rulimanes de 6 mm de diámetro.

A continuación en las Tablas 2.12, 2.13 y 2.14 se indican las condiciones del suavizado con sulfito de sodio-hidróxido de sodio a temperaturas de 60 °C, 75 °C y ebullición.

**Tabla 2.12.** Suavizado con sulfito de sodio al 1 %, a distintas concentraciones de hidróxido de sodio, diferentes tiempos y temperatura de 60 °C

Nº ensayo	Hidróxido de sodio [%]	Tiempo (min)
58	1	30
59	3	
60	5	
61	10	
62	1	60
63	3	
64	5	
65	10	
66	1	90
67	3	
68	5	
69	10	
70	1	120
71	3	
72	5	
73	10	

**Tabla 2.13.** Suavizado con sulfito de sodio al 1 %, a distintas concentraciones de hidróxido de sodio, diferentes tiempos y temperatura de 75 °C

Nº ensayo	Hidróxido de sodio [%]	Tiempo (min)
74	1	30
75	3	
76	5	
77	10	
78	1	60
79	3	
80	5	
81	10	
82	1	90
83	3	
84	5	
85	10	
86	1	120
87	3	
88	5	
89	10	

**Tabla 2.14.** Suavizado con sulfito de sodio al 1 %, a distintas concentraciones de hidróxido de sodio, diferentes tiempos y temperatura de ebullición

N° ensayo	Hidróxido de sodio [%]	Tiempo (min)
90	1	30
91	3	
92	5	
93	10	
94	1	60
95	3	
96	5	
97	10	
98	1	90
99	3	
100	5	
101	10	
102	1	120
103	3	
104	5	
105	10	

Una vez terminado cada ensayo, se procedió a neutralizar las fibras con ácido acético al 10 %, hasta que el pH sea cercano a 7, luego se las lavó y se utilizó un suavizante no iónico con el fin de mejorar la suavidad de las fibras, a una concentración de 3 % (spf) durante 30 min a 40 °C y razón licor de 1:25, para eliminar cualquier exceso de suavizante se lavaron las fibras con agua caliente, luego se las secaron y peinaron para evaluar las características de las mismas al final de cada ensayo.

#### 2.4.2.2 Suavizado con celulasa

Alternativamente al proceso de suavizado con sulfito de sodio-hidróxido de sodio, se planteó otro proceso en el que sea posible la obtención de fibras más flexibles, mediante el uso de la enzima celulasa, cuya función según Ovando y Waliszewski (2005, p.113) y Lis (2002, p. 9) es la de hidrolizar la celulosa, para de esta manera



disminuir sus zonas cristalinas y crear zonas amorfas, con el fin de volver a la fibra más flexible.

En las pruebas preliminares realizadas sobre las fibras con los reactivos de celulasa, no se obtuvieron fibras con cambios apreciables, por lo tanto, se determinó el uso de rulimanes de acero de 6 mm de diámetro, con el fin que estos golpeen a las fibras y las ablanden, además de facilitar el ingreso de los reactivos en la fibra. Se varió la cantidad de rulimanes desde 10, 15, 20 hasta 30. Con la finalidad de aumentar los puntos de contacto de estos con la fibra se usaron también rulimanes de 4 y 5 mm de diámetro, para lo cual se tomó en cuenta que su peso debe ser igual al peso de los 15 rulimanes de 6 mm de diámetro.

En este proceso se utilizó en cada ensayo 0,5 g de fibra, se varió la concentración de celulasa al 2 %, 4 %, 6 % y 8 % (spf) y la razón licor fue de 1:25. Se trabajó en un rango de tiempo de 30 min a 120 min, a intervalos de 30 min. Las soluciones preparadas fueron colocadas en los envases del equipo Launder-O-Meter.

Para lograr una mayor actividad de la enzima con la celulosa, se controló la temperatura y el pH, la primera debe ser de 55 °C, dado que esta es la temperatura óptima de acuerdo al proveedor, a la cual la enzima reacciona de mejor forma con la celulosa de la fibra y el pH se mantuvo entre 4,5 y 5,5 mediante la adición de ácido acético al 10 %.

Para detener la actividad de la enzima se colocaron a las fibras en agua caliente a 80 °C, razón licor 1:50, durante 10 min. Con la finalidad de mejorar sus características de suavidad, se añadió un suavizante no iónico 3 % (spf), razón licor 1:25, durante 30 min a 40 °C. Luego se lavó a la fibra con agua caliente y se procedió al secado de la misma, para posteriormente peinarla y así poder evaluar sus características. La fibra suavizada con el proceso que presentó las mejores condiciones fue la utilizada en la elaboración del hilo.

Las condiciones aplicadas en el suavizado con celulasa ácida se muestran en la Tabla 2.15.

**Tabla 2.15.** Variación de los parámetros del proceso de suavizado con celulasa ácida a 55 °C

Nº ensayo	Celulasa [%]	Tiempo (min)
106	2	30
107	4	
108	6	
109	8	
110	2	60
111	4	
112	6	
113	8	
114	2	90
115	4	
116	6	
117	8	
118	2	120
119	4	
120	6	
121	8	

#### 2.4.2.3 Selección del proceso de suavizado y determinación de sus mejores condiciones

Para seleccionar el proceso de suavizado más adecuado se evaluaron mediante escalas cualitativas las características que las fibras adquirieron después de cada ensayo, se tomó en cuenta el desprendimiento de fibrillas, suavidad al tacto y facilidad de cohesión entre fibras. De acuerdo a estos resultados se escogió el proceso y se determinaron las mejores condiciones del proceso seleccionado. A continuación en las Tablas 2.16 y 2.17 se presentan las valoraciones para la suavidad al tacto y facilidad de cohesión entre fibras, se tomó como referencia la fibra blanqueada a las mejores condiciones. Con el fin de apreciar de mejor manera los resultados obtenidos en cada proceso de suavizado, se asignó a cada valoración cualitativa un valor numérico cuantitativo, para graficar en Excel, esta escala fue ascendente del 0 al 3 y del 1 al 4, para la suavidad y facilidad de

cohesión respectivamente, en donde 0 y 1 constituyeron los peores resultados para cada caso. Las valoraciones para el desprendimiento de fibrillas son las mismas que se mostraron en la Tabla 2.7.

**Tabla 2.16.** Escala cualitativa para evaluación de la suavidad de las fibras

Valor de la variable	Valoración	Interpretación
0	Áspero	Tacto igual a la fibra después del blanqueo
1	Menos áspero	Tacto menos áspero con respecto a la fibra después del blanqueo
2	Regularmente suave	Tacto moderadamente suave
3	Suave	Tacto suave

**Tabla 2.17.** Escala cualitativa para evaluación de la facilidad de cohesión entre las fibras

Valor de la variable	Valoración	Interpretación
1	Baja	Cohesión dificultosa entre las fibras
2	Regular	Fibras regularmente cohesionadas
3	Moderada	Cohesión moderada entre fibras
4	Buena	Buena cohesión entre fibras

## **2.5 HILADO ARTESANAL Y CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DEL HILO OBTENIDO Y EVALUACIÓN DE SU CAPACIDAD DE TISAJE**

La fibra cruda de formio, no es apta para formar un hilo y menos aún un tejido, es por eso que fue tratada mediante diferentes procesos para conferirle a más de flexibilidad y suavidad, blancura, hidrofiliidad y facilidad de ser torsionada.

Debido a que los procesos de descrude y blanqueo no estaban destinados a disminuir la rigidez de la fibra, se realizó el suavizado para otorgarle flexibilidad, facilidad de torsionado y cohesión, con la finalidad de elaborar el hilo.

Para la obtención del hilo, se realizaron dos métodos, el primero consistió de un hilado con fibra corta y el segundo con fibra larga.

El hilado de fibra corta fue efectuado por un proceso parecido al hilado de lana, el cual consistió en el corte de la fibra a longitudes de 6 cm, debido a que esta longitud es la que generalmente se emplea en este hilado.

Una vez recortadas las fibras, se realizó un cardado con una carda mecánica manual marca SDL ATLAS presentada en la Figura 2.12, la misma que consta de dos cilindros giratorios entre sí con púas fijas en cada cilindro giratorio, estas arrastraron las fibras alimentadas y las paralelizaron, con lo que además se eliminaron pelusas (fibras muy pequeñas). El cardado se realizó varias veces hasta obtener fibras paralelas, las cuales formaron un velo de fibras cardadas, del cual se obtuvo una mecha, misma que fue estirada de manera continua durante el hilado en la rueca eléctrica.

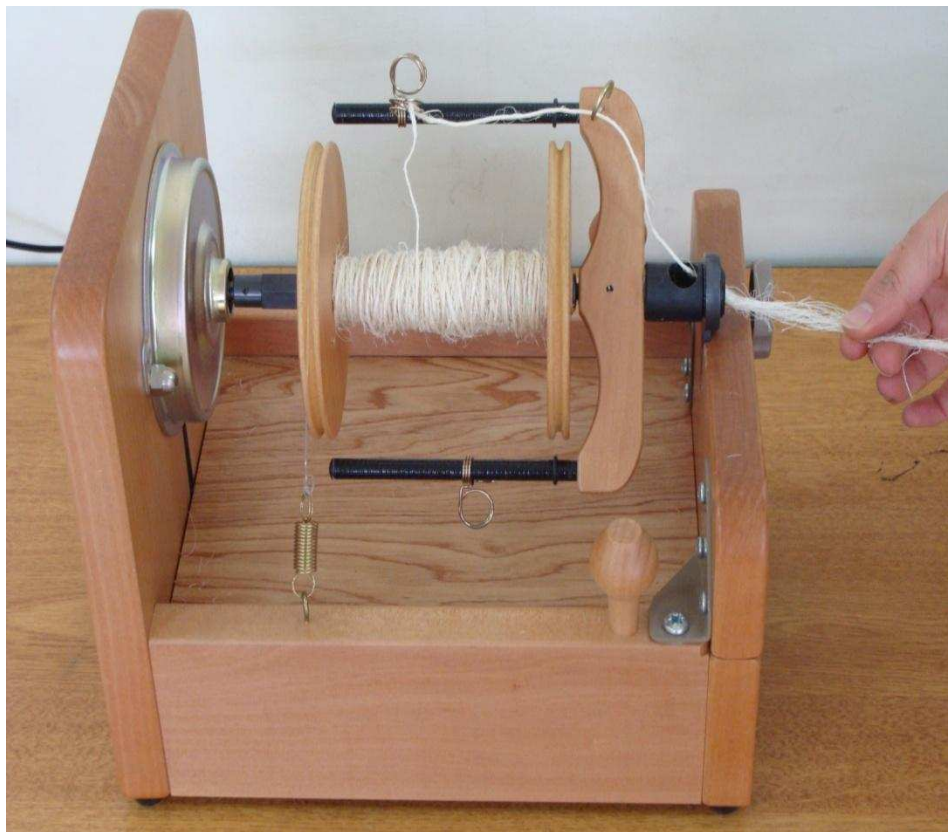


**Figura 2.12.** Carda mecánica usada en la formación del velo de fibra corta de formio

El hilado de fibra larga se realizó de manera similar al realizado en la obtención del hilo de cabuya, para lo cual no fue necesario cortar las fibras, más bien se las peinó con una escarmenadora, la cual las paralelizó y eliminó fibras enredadas o

muy cortas que podrían interferir en las propiedades del hilo a obtener. Una vez peinadas las fibras se las amarró en forma de copos y se las colocó en posición vertical cerca de la rueca eléctrica para facilitar la alimentación de las fibras hacia esta. El grosor y uniformidad del hilo obtenido dependió de la habilidad de controlar la alimentación de las fibras a la rueca, mediante la presión ejercida por los dedos pulgar e índice. Este ingreso de fibras debe ser constante y uniforme porque si los dedos se cierran mucho originará que las fibras se torsionen demasiado, por el continuo giro de la rueca, lo cual causará un efecto cortante entre las fibras dispuestas en ángulo recto y esto provocará una disminución en la resistencia del hilo según Hollen (2002, p. 158), mientras que si no se cierran lo suficientemente los dedos, las fibras casi no se torsionarán y, por lo tanto, se resbalarán del hilo.

En la Figura 2.13 se muestra el hilado de la fibra de formio mediante el empleo de la rueca eléctrica.



**Figura 2.13.** Hilado de la fibra de formio en la rueca eléctrica

### 2.5.1 CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DEL HILO OBTENIDO

Como parte de la caracterización se determinó el número de torsiones por metro (tpm) del hilo de formio, por los métodos directo y de destorsión-retorsión para lo cual se empleó las normas ASTM D 1423-99 y 1422-99 respectivamente, cuyos datos se encuentran en el Anexo VII. En el primer método se determinó el número de vueltas por metro que sirvieron para destorser al hilo hasta que sus fibras estuvieron paralelas y el segundo consistió en destorser al hilo hasta que las fibras estuvieron paralelas y luego retorser al hilo hasta la torsión original para determinar el total de vueltas por metro.

Antes de realizar las pruebas mecánicas, se determinó el título del hilo de formio y cabuya, para ello se pesaron en una balanza analítica 33 segmentos de cada hilo de 50 cm de longitud medidos en el mallímetro. La relación que existe entre el peso registrado y la longitud es el título del hilo.

Para determinar la tenacidad y la elongación del hilo de formio obtenido se utilizaron los procedimientos descritos en la norma ASTM D 2256-97. Se empleó como patrón de comparación de estas propiedades al hilo formado con 100 % cabuya, debido a que la forma de elaboración del hilo de formio fue similar al realizado en la obtención del hilo de cabuya, el cual se encuentra fácilmente en el mercado interno.

Para realizar este ensayo se utilizó el equipo de ensayos universales Lloyd, en el cual se estableció una separación entre mordazas de 10 cm y una velocidad de 26 mm/min, entre las cuales se colocó el segmento de hilo de formio antes cortado, y se cuidó que este se encuentre lo suficientemente estirado.

Con este ensayo, se obtuvieron los datos de fuerza máxima y porcentaje de elongación a la ruptura. Mediante la relación entre la fuerza a la ruptura y el título de cada hilo, se obtuvo la tenacidad de cada segmento individual de hilo. De igual forma se procedió en la determinación de la tenacidad del hilo de cabuya, en el que la velocidad de ascenso de la mordaza superior se estableció en 23 mm/min.

Los datos de las caracterizaciones mecánicas de los hilos de formio y cabuya se presentan en el Anexo V, mientras que el análisis de varianza ANOVA y el de diferencias menos significativas (LSD) de Fisher se presentan en el Anexo VI.

### **2.5.2 EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE TISAJE DEL HILO OBTENIDO**

Para evaluar la capacidad de tisaje del hilo de formio obtenido, se realizó un tejido con este hilo con la ayuda de un telar manual artesanal. Se utilizó como hilo de urdimbre el de algodón crudo cuyo color fue parecido al hilo de formio, porque los orificios de los lizos de los marcos por los que pasan los hilos de urdimbre eran demasiado pequeños y no permitieron el paso del hilo formado de formio cuyo diámetro fue mayor. Los 63 hilos de urdimbre que se colocaron en el telar fueron preparados en un urdidor de madera, que posteriormente se los puso en el enjullo trasero y enlizados en los lizos de los marcos, para luego pasarlos a través de los claros del peine y fijarlos en el cilindro plegador. La trama estuvo formada por hilo de formio, el mismo que se lo entrecruzó en forma perpendicular con los de urdimbre, para lo cual se utilizó la lanzadera y se lo ajustó con el varal que contiene un peine de 8 dientes por centímetro.

Los hilos de urdimbre durante todo el proceso se mantuvieron lo suficientemente tensados para que el tejido formado no tenga zonas disparejas, esto se logró al ajustar el freno del enjullo trasero el cual alimenta los hilos de urdimbre a los lizos y al enrollar y ajustar al tejido formado en el cilindro plegador. El ligamento trabajado fue el tafetán plano 1-1. En la Figura 2.14 se muestra el telar manual artesanal utilizado.



**Figura 2.14.** Telar manual artesanal usado para elaborar un tejido de ligamento tafetán 1-1



### **3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **3.1 DETERMINACIÓN DE LAS MEJORES CONDICIONES DE DESCRUDE CON HIDRÓXIDO DE SODIO**

Antes de realizar cualquier tratamiento químico sobre la fibra de formio, esta debe estar limpia, es decir, libre de suciedad y de cualquier material no fibroso, ya que estos pueden interferir en los procesos y tratamientos químicos posteriores, por ejemplo, en el consumo de reactivos o actuar en reacciones que causen el deterioro de la fibra. Debido a la longitud y finura de la fibra, esta se enreda muy fácilmente y para evitar esto se formó un crucero, que además permitió el ingreso de los reactivos de manera uniforme en la fibra. La limpieza es muy importante para el tratamiento de la fibra, puesto que de la forma en que se la acondicione, dependerá el éxito de los procesos posteriores. La forma de obtención y tratamiento de la fibra previo a la obtención del hilo y posterior hilatura fueron descritos en la parte experimental.

En el descrude con hidróxido de sodio se trabajó a temperatura ambiente y a temperatura de ebullición porque a nivel artesanal es más fácil trabajar a estas temperaturas.

Los resultados obtenidos de descrude a temperatura ambiente se muestran en la Tabla 3.1.

**Tabla 3.1.** Resultados del descruce a temperatura ambiente

N° ensayo	Descruce				Valoración		
	NaOH [g/L]	Detergente [g/L]	Humectante [g/L]	Tiempo (min)	Color	Tacto	Desprendimiento de fibrillas
1	1	0	0	30	Crema con zonas verdosas	Ceroso	Bajo
2	1	1	1		Crema con menos zonas verdosas	Ceroso	Bajo
3	2	0	0		Crema con zonas verdosas	Ceroso	Bajo
4	2	1	1		Crema con menos zonas verdosas	Ceroso	Bajo
5	1	0	0	60	Crema con zonas verdosas	Ceroso	Bajo
6	1	1	1		Crema con menos zonas verdosas	Ceroso	Bajo
7	2	0	0		Crema con zonas verdosas	Ceroso	Bajo
8	2	1	1		Crema con menos zonas verdosas	Ceroso	Bajo

En la Tabla 3.1 se observa que los resultados de descruce a temperatura ambiente no fueron favorables, ya que las fibras presentaron un tacto ceroso similar a la fibra sin ningún tratamiento, esto se debería a que al no ser la temperatura adecuada de proceso la acción del hidróxido de sodio sobre las ceras y grasas de la fibra al parecer no fue efectiva lo que probablemente provocó que estas no saponifiquen ni emulsifiquen, quedándose en la fibra, cuya presencia afectará los tratamientos posteriores que se apliquen sobre esta, debido a que forman una capa que la vuelve poco permeable, lo que impediría que los reactivos ingresen en su interior. Además el desprendimiento de fibrillas fue bajo y por lo tanto al parecer las fibras no fueron afectadas por este tratamiento.

En cuanto al color, en los ensayos en los que no se utilizó detergente ni humectante, la fibra adquirió un color crema con una menor tonalidad de zonas verdosas con respecto a la fibra cruda, lo que indicaría que el hidróxido de sodio

pudo haber removido parte de la clorofila contenida en la fibra, porque en pruebas preliminares se trató a la fibra solamente en agua sin utilizar ningún reactivo, en donde esta mantuvo el mismo color verdoso que la fibra sin ningún tratamiento. En los casos en los que se usó detergente y humectante, se obtuvieron fibras más claras, ya que según Ward (1955, p. 205) y Sarex (2010) estos disminuyen la tensión superficial del agua, lo cual facilita el ingreso de los reactivos en el interior de la fibra, pero al no ser la temperatura adecuada de proceso probablemente solo se removió mayor cantidad de clorofila, obteniéndose un color crema con menos zonas verdosas a lo largo de la fibra, con respecto a la fibra sin ningún tratamiento.

En el descruce a temperatura de ebullición se trabajó a las mismas concentraciones de reactivos y tiempos que en el descruce a temperatura ambiente. En la Tabla 3.2 se muestran los resultados obtenidos de descruce para tiempos de 30 min y 60 min de tratamiento a temperatura de ebullición.

**Tabla 3.2.** Resultados del descruce a temperatura de ebullición

Nº ensayo	Composición del baño de descruce				Valoración			
	NaOH [g/L]	Detergente [g/L]	Humectante [g/L]	Tiempo (min)	Color	Uniformidad de color	Tacto	Desprendimiento de fibrillas
9	1	0	0	30	Crema 1	No	Ceroso	Bajo
10	1	1	1		Crema 1	Si	Poco áspero	Bajo
11	2	0	0		Crema 2	No	Ceroso	Bajo
12	2	1	1		Crema 2	Si	Poco áspero	Bajo
13	1	0	0	60	Crema 1	No	Ceroso	Bajo
14	1	1	1		Crema 1	Si	Poco áspero	Bajo
15	2	0	0		Crema 2	No	Ceroso	Bajo
16	2	1	1		Crema 2	Si	Poco áspero	Bajo

En la Tabla 3.2 se aprecia que se obtuvieron resultados similares de descruce a los 30 min y 60 min de tratamiento, cuando se mantuvieron constantes las otras condiciones de proceso, así en los descruces realizados a 1 g/L y 2 g/L de hidróxido de sodio, sin detergente y humectante a temperatura de ebullición, las fibras no presentaron un color crema uniforme en toda su superficie, es decir, existieron zonas en las que el color fue crema con un tono más oscuro, esto se debería a que el hidróxido de sodio no ingresó adecuadamente en la fibra y por tanto, saponificó en forma desigual las grasas y ceras, al igual que pudo haber eliminado en forma dispareja algunas sustancias cromóforas de la clorofila, lo que ocasionó zonas más oscuras que otras, esta presencia de grasas se comprobó en el análisis al tacto, el cual fue ceroso.

En los baños de descruce compuestos de hidróxido de sodio de 1 g/L y 2 g/L, con detergente y humectante, los resultados obtenidos fueron mejores que los realizados sin ellos, porque probablemente al permitir un hinchamiento de la fibra mediante la acción del humectante, se facilitó el ingreso de la sosa para la saponificación y emulsificación de las grasas y ceras, dado que tanto el hinchamiento de la fibra como las reacciones de saponificación se ven favorecidas con el aumento de la temperatura según Morales (1993, p. 92) y Sarex (2010), mientras que el detergente impediría la reinsertión de las impurezas en la fibra, además que removería ceras insaponificables y posiblemente la clorofila contenida en la fibra, todo esto hizo que el color a lo largo de la fibra fuera uniforme, sin embargo, la eliminación de ceras y grasas ocasionaron que esta se torne un tanto áspera.

Además, la fibra tratada con mayor concentración de álcali de 2 g/L presentó un color crema más claro que la fibra tratada con 1 g/L, esto se debería a que el hidróxido de sodio a más de reaccionar con las grasas de la fibra, quizás reaccionó con los grupos cromóforos de la clorofila. Pero si bien el color alcanzado fue más claro que la fibra sin descruce, este no fue suficiente como para descartar el proceso de blanqueo, el cual mejora el aspecto de la fibra al blanquearla.

En cuanto al desprendimiento de fibrillas, este fue bajo tanto en los descruces en los que no se usó detergente y humectante, como en los que si se usó, esto indicaría que este proceso está dirigido a remover ceras, grasas e impurezas y a estas condiciones, al parecer, el daño a la estructura interna de la fibra fue insignificante.

Los mejores resultados se obtuvieron al tratar la fibra a 30 min y 60 min, con 2 g/L de hidróxido de sodio, 1 g/L de detergente y 1 g/L de humectante, en los que para estos dos tiempos se obtuvieron color, uniformidad de color, tacto y desprendimiento de fibrillas similares, esto fue crema 2, uniforme, poco áspero y bajo respectivamente, por lo tanto, con la finalidad de ahorrar recursos y tiempo, se escogió como las mejores condiciones de descruce el realizado a los 30 min, puesto que un tiempo mayor a este, significaría un gasto innecesario de energía.

A continuación en la Tabla 3.3 se muestran las condiciones de descruce adecuadas y las fibras tratadas a estas condiciones se visualizan en la Figura 3.1.

**Tabla 3.3.** Condiciones de descruce adecuadas con hidróxido de sodio

<b>Variable</b>	<b>Valor</b>
NaOH	2 g/L
Detergente	1 g/L
Humectante	1 g/L
Tiempo	30 min
Razón licor	1:25
Temperatura	Ebullición



**Figura 3.1.** Fibras de formio (A) sin descruar, (B) descruadas a las condiciones adecuadas

De los resultados expuestos anteriormente se debe realizar el descruce a temperatura de ebullición, porque a esta temperatura el hidróxido de sodio saponificaría las grasas y ceras de las fibra, además el uso de humectantes y detergentes es favorable al proceso, obteniéndose fibras más claras, limpias y homogéneas, ya que según lo descrito en bibliografía el humectante permite el hinchamiento de la fibra y el ingreso uniforme de los reactivos en su interior, mientras que el detergente evita la reinsertión de impurezas en la superficie de la fibra. Todo esto sugirió que un correcto tratamiento de descruce realizado a temperatura y condiciones adecuadas a más de eliminar las ceras y grasas presentes en la fibra, y según lo descrito por Beltramone et al. (2012), elimina también parte de los colores naturales del material textil y por tanto, se obtendrían mejores resultados con un menor consumo de reactivos en el tratamiento de blanqueo.

## **3.2 DETERMINACIÓN DE LAS MEJORES CONDICIONES DE LOS PROCESOS DE BLANQUEO Y SUAVIZADO SELECCIONADOS**

La fibra descrudada con el tratamiento que presentó las mejores condiciones fue utilizada en los procesos de blanqueo con hipoclorito de sodio y peróxido de hidrógeno. Además como se mencionó en la parte experimental, para determinar las mejores condiciones de los procesos de blanqueo y suavizado, se utilizaron como referencia estas fibras.

### **3.2.1 BLANQUEO**

#### **3.2.1.1 Blanqueo con hipoclorito de sodio**

Este tipo de blanqueo, debido a su alto potencial de oxidación, es realizado a temperaturas cercanas a la ambiental, lo cual constituiría un ahorro de energía, sin embargo, según lo dicho en teoría el blanco alcanzado en las fibras no es tan estable porque luego de cierto tiempo tienden a amarillarse.

Para este tratamiento de blanqueo se realizaron ensayos preliminares a tiempo de 30 min y temperatura ambiente promedio de 15 °C, se varió la concentración de hipoclorito de sodio de 2, 4, 6, 8 y 10 g/L, pero a este tiempo y temperatura los resultados no fueron favorables, porque las fibras presentaron el mismo color que la fibra descrudada previamente. Se ensayó entonces a una temperatura de 30 °C, con variación de las concentraciones de hipoclorito de sodio de 2, 4, 6, 8 y 10 g/L, pero los resultados tampoco fueron favorables, debido a que las fibras descrudadas y blanqueadas se oscurecieron.

Con los resultados anteriores se decidió fijar la temperatura a la ambiental y variar el tiempo entre 60 min y 180 min, con intervalos de 30 min, también se varió la concentración de hipoclorito de sodio de 2, 4, 6, 8 y 10 g/L. En la Tabla 3.4 se muestran los resultados obtenidos del blanqueo con hipoclorito de sodio a esta temperatura.

**Tabla 3.4.** Resultados del blanqueo con hipoclorito de sodio a diferentes tiempos y temperatura ambiente

N° ensayo	Blanqueo con hipoclorito de sodio		Valoración		
	Concentración [g/L] de NaClO, 5 % de cloro activo	Tiempo (min)	Color alcanzado	Tacto	Desprendimiento de fibrillas
17	2	60	Crema amarillo 1	Poco áspero	Bajo
18	4		Crema amarillo 2	Poco áspero	Bajo
19	6		Crema referencial	Poco áspero	Bajo
20	8		Blanco 1	Regularmente áspero	Regular
21	10		Blanco 1	Regularmente áspero	Regular
22	2	90	Crema amarillo 1	Poco áspero	Bajo
23	4		Crema referencial	Poco áspero	Bajo
24	6		Crema referencial	Poco áspero	Bajo
25	8		Blanco 1	Regularmente áspero	Regular
26	10		Blanco 1	Áspero	Regular
27	2	120	Crema amarillo 1	Poco áspero	Bajo
28	4		Crema referencial	Poco áspero	Bajo
29	6		Crema referencial	Poco áspero	Bajo
30	8		Blanco 1	Regularmente áspero	Regular
31	10		Blanco 1	Áspero	Regular
32	2	150	Crema amarillo 1	Poco áspero	Bajo
33	4		Crema Referencial	Poco áspero	Bajo
34	6		Crema Referencial	Poco áspero	Bajo
35	8		Blanco 1	Regularmente áspero	Regular
36	10		Blanco 1	Áspero	Regular



**Tabla 3.4.** Resultados del blanqueo con hipoclorito de sodio a diferentes tiempos y temperatura ambiente (**continuación ...**)

N° ensayo	Blanqueo con hipoclorito de sodio		Valoración		
	Concentración [g/L] de NaClO, 5 % de cloro activo	Tiempo (min)	Color alcanzado	Tacto	Desprendimiento de fibrillas
37	2	180	Crema amarillo 1	Poco áspero	Bajo
38	4		Crema Referencial	Poco áspero	Bajo
39	6		Crema Referencial	Poco áspero	Bajo
40	8		Blanco 1	Regularmente áspero	Regular
41	10		Blanco 1	Áspero	Regular

En la Tabla 3.4 se observa que no se alcanzaron altos tonos de blanco puesto que para los casos en los que se trató a las fibras con mayores concentraciones de hipoclorito de sodio de 8 g/L y 10 g/L únicamente se logró un blanco mayor al referencial que fue de blanco 1, esto es apenas aumentó en una tonalidad con respecto al color crema referencial (fibra descrudada a las condiciones adecuadas).

A los 2 g/L y 4 g/L de hipoclorito de sodio a los 60 min las fibras adquirieron un color amarillento, porque el hipoclorito de sodio reaccionaría con parte de la lignina de la fibra, tal como sucede en las pulpas obtenidas de la madera, de acuerdo a lo descrito por Princeton (2010), lo cual produce en este caso, una tonalidad color café, mientras que la menor cantidad de lignina presente en las fibras vegetales les otorgaría el color amarillento; otra posibilidad es que los carbohidratos de la fibra reaccionaron con el hipoclorito y formaron ácido clorhídrico que atacaría a la celulosa, lo cual formaría compuestos amarillos según lo descrito por Casey (1990, p. 851). Sin embargo, a partir de los 90 min para el caso en el que se usó 4 g/L de hipoclorito de sodio, la fibra adquirió un color parecido al crema referencial (color de la fibra descrudada a las condiciones adecuadas) y se mantuvo en esta tonalidad debido a que al estar durante un mayor tiempo de contacto la fibra con la solución de blanqueo hizo que probablemente se elimine la coloración adquirida a los 60 min. En cuanto a la

suavidad al tacto, para estas concentraciones de 2 g/L y 4 g/L de hipoclorito de sodio a los 60 min de proceso, las fibras tuvieron el mismo tacto que la fibra descrudada a las condiciones adecuadas y el desprendimiento de fibrillas fue bajo lo que indicaría que no fueron afectadas por este tratamiento, estos mismos resultados se pueden observar para estas concentraciones en los demás tiempos hasta los 180 min.

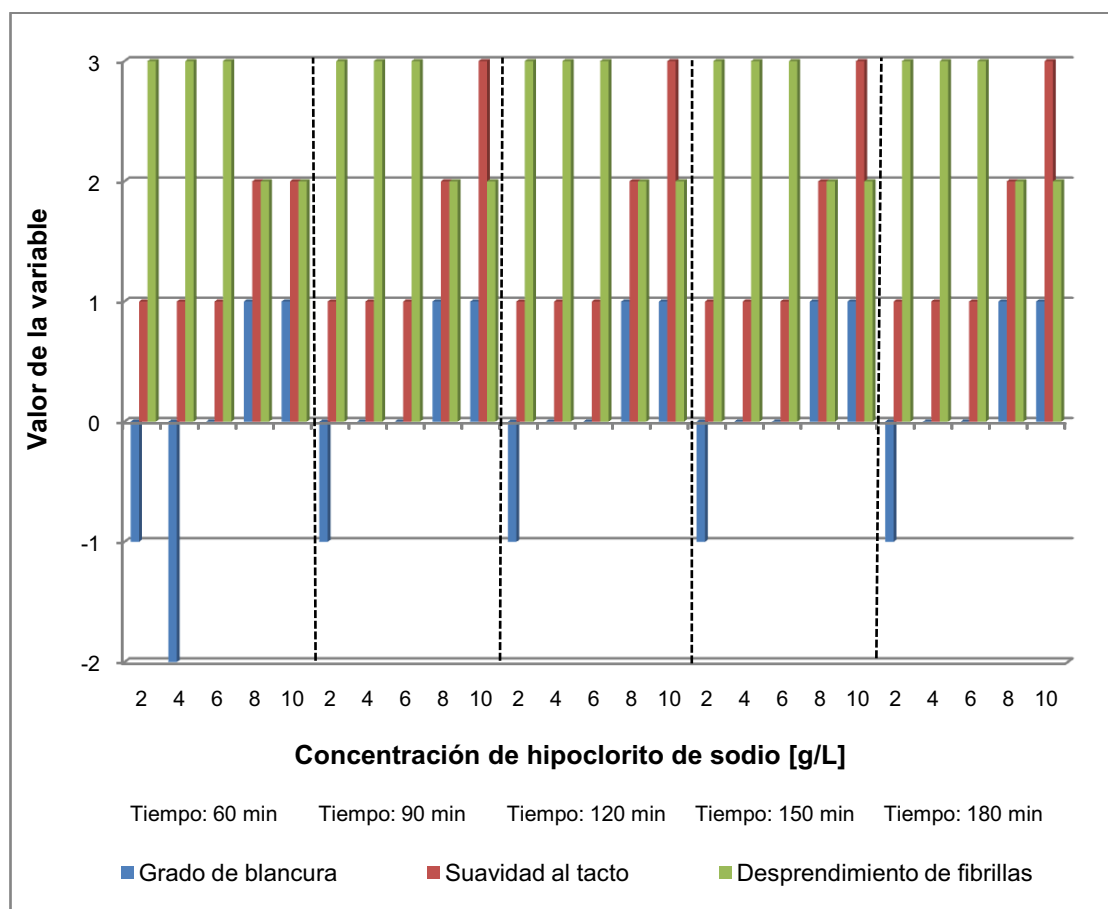
El color de las fibras a los 6 g/L de hipoclorito de sodio todavía no fue el esperado, dado que este fue parecido al color crema referencial. En cuanto al análisis al tacto y al desprendimiento de fibrillas los resultados obtenidos fueron similares que al emplear 2 g/L y 4 g/L de hipoclorito de sodio, por lo tanto la concentración de 6 g/L es aún insuficiente para remover los grupos cromóforos de la fibra y por tanto no se obtuvo un mayor tono de blanco, a pesar que se utilizaron tiempos mayores a 60 min hasta 180 min.

En los tratamientos con 8 g/L y 10 g/L de hipoclorito de sodio, las fibras adquirieron un tono más blanco que la fibra descrudada a las condiciones adecuadas, debido a que se emplearon mayores concentraciones de reactivos, mismos que posiblemente reaccionaron con parte de los grupos cromóforos de la fibra. Además el análisis al tacto a estas concentraciones de hipoclorito de sodio indicó que las fibras tuvieron un tacto más áspero que la fibra descrudada y se notó un desprendimiento de fibrillas un poco mayor, debido a que pudo haber ocurrido una cierta deslignificación, por lo que las fibrillas de celulosa contenidas en la fibra se liberaron y aparecieron en la superficie de la misma.

En todos los casos anteriores se obtuvieron fibras con tonos de blanco homogéneos porque la agitación del Lauderómetro y el humectante empleado permitirían el ingreso uniforme de los reactivos hacia la fibra. De lo anteriormente expuesto se deduce que tiempos mayores de blanqueo con hipoclorito de sodio serían infructuosos, debido a que el grado de blanco alcanzado no fue el esperado, por lo que según Escobar (1996, p. 30) con este tipo de blanqueo, al no alcanzar un tono de blanco alto, este tratamiento puede ser utilizado para

procesos de teñido de tonos oscuros o para productos en donde el nivel de blanco no sea muy importante.

En la Figura 3.2 se muestran los resultados presentados en la Tabla 3.4 de los tratamientos de blanqueo con hipoclorito de sodio realizados en la fibra descrudada a las condiciones adecuadas.



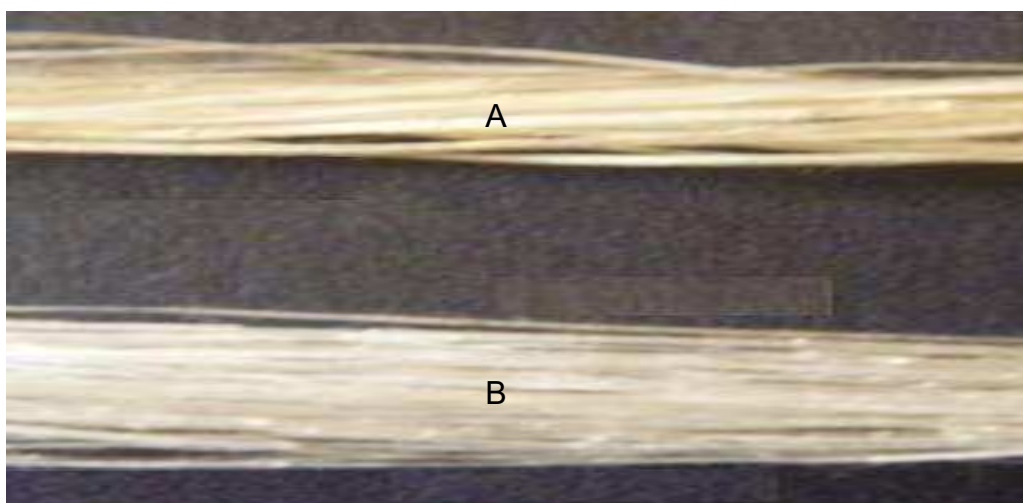
**Figura 3.2.** Resultados del blanqueo con hipoclorito de sodio con contenido del 5 % de cloro activo

De lo expuesto en la Tabla 3.4 y como se aprecia en la Figura 3.2 a pesar de que en el blanqueo con hipoclorito de sodio no se obtuvieron altas tonalidades de blanco, las condiciones en las que se obtuvieron los mejores resultados del proceso con las cuales se consiguió un tono de blanco más claro que el referencial fueron al tratar la fibra con 8 g/L de hipoclorito de sodio por un tiempo de 60 min, porque a partir de este tiempo la fibra no varió en color al aplicar

tiempos mayores y por tanto, esto sería una pérdida de tiempo y recursos, las fibras tratadas bajo las condiciones mencionadas tuvieron un tacto regularmente áspero y un desprendimiento de fibrillas regular. Las condiciones adecuadas para el blanqueo con hipoclorito de sodio se muestran en la Tabla 3.5 y las fibras tratadas a estas condiciones se visualizan en la Figura 3.3.

**Tabla 3.5.** Condiciones de blanqueo adecuadas con hipoclorito de sodio

Variable	Valor
NaClO, 5 % de cloro activo	8 g/L
Tiempo	60 min
Humectante	0,75 g/L
Razón licor	1:25
Temperatura	Ambiente



**Figura 3.3.** Fibras de formio (A) descrudadas con 2 g/L de NaOH a temperatura de ebullición, (B) descrudadas a las condiciones descritas en (A) y blanqueadas con 8 g/L de hipoclorito de sodio por 60 min

### 3.2.1.2 Blanqueo con Peróxido de Hidrógeno

El blanqueo con peróxido de hidrógeno es uno de los procesos más utilizados en la industria debido a que con este tratamiento se alcanzan tonos de blanco más altos con respecto al realizado con hipoclorito de sodio.

Para realizar este proceso se empleó peróxido de hidrógeno al 35 % y 50 % en concentraciones de 3 mL/L y 5 mL/L según Escobar (1996, p. 49), adicionalmente se usó 0,5 g/L y 1,0 g/L de silicato de sodio, el cual es un estabilizador que impidió que el oxígeno, producto de la descomposición del ión perhidroxilo, reaccione de manera acelerada con los grupos cromóforos de la fibra y además con la celulosa, lo que ocasionaría la consecuente degradación de la fibra.

Al igual que en el proceso con hipoclorito de sodio, para poder evaluar con que tratamiento se obtiene un blanco más claro se tomó como referencia ciertas cualidades de la fibra descrudada a las condiciones adecuadas. Las condiciones y los resultados a los que se efectuaron el blanqueo con peróxido de hidrógeno al 35 % se muestran en la Tabla 3.6.

**Tabla 3.6.** Resultados del blanqueo con peróxido de hidrógeno al 35% a diferentes tiempos y temperatura de ebullición

N° ensayo	Blanqueo con peróxido de hidrógeno			Valoración		
	Concentración peróxido de hidrógeno [mL/L]	Silicato de sodio [g/L]	Tiempo (min)	Color alcanzado	Tacto	Desprendimiento de fibrillas
42	3	0,5	30	Blanco 1	Regularmente áspero	Bajo
43	5	1,0		Blanco 1	Regularmente áspero	Bajo
44	3	0,5	60	Blanco 3	Áspero	Bajo
45	5	1,0		Blanco 3	Áspero	Bajo
46	3	0,5	90	Blanco 2	Áspero	Regular
47	5	1,0		Blanco 2	Áspero	Regular
48	3	0,5	120	Blanco 2	Áspero	Regular
49	5	1,0		Blanco 2	Áspero	Regular

En la Tabla 3.6 se aprecia que el tono de blanco alcanzado para las concentraciones de 3 mL/L y 5 mL/L de peróxido de hidrógeno al 35 % a los 30 min es de blanco 1, apenas una tonalidad mayor al de la fibra descrudada a las condiciones adecuadas, esto se debería a que el tiempo para estas concentraciones de peróxido fue insuficiente como para permitir que el oxígeno

activo reaccione con mayor cantidad de sustancias cromóforas de la fibra, además el tacto fue regularmente áspero y el desprendimiento de fibrillas fue bajo, lo cual indicaría que las propiedades mecánicas de la fibra como la tenacidad no se vieron mayormente afectadas.

El mejor tono de blanco con las concentraciones de 3 mL/L y 5 mL/L de peróxido de hidrógeno al 35 %, se obtuvo a los 60 min y fue de blanco 3, por lo que se presume que a este tiempo reaccionó el oxígeno con la mayoría de los grupos cromóforos de la fibra, lo cual permitió aumentar su grado de blanco, además a estas concentraciones de peróxido el desprendimiento de fibrillas fue bajo, lo que demostró que al parecer no se produjeron daños en la fibra. Sin embargo, el tacto fue áspero, porque los reactivos utilizados en el blanqueo con peróxido de hidrógeno pudieron también haber reaccionado con otros componentes químicos de la fibra que son susceptibles a su presencia como las hemicelulosas, las cuales son solubles en álcali, en donde probablemente se produjo un fibrilado por el ablandamiento de la hemicelulosa la cual actúa como adhesivo dentro de las fibras individuales y en la unión interfibras, esta eliminación de gomas y adhesivos hacen que la fibra además se vuelva quebradiza según Casey (1991, pp. 168, 171), lo mencionado anteriormente explicaría esta aspereza en la fibra.

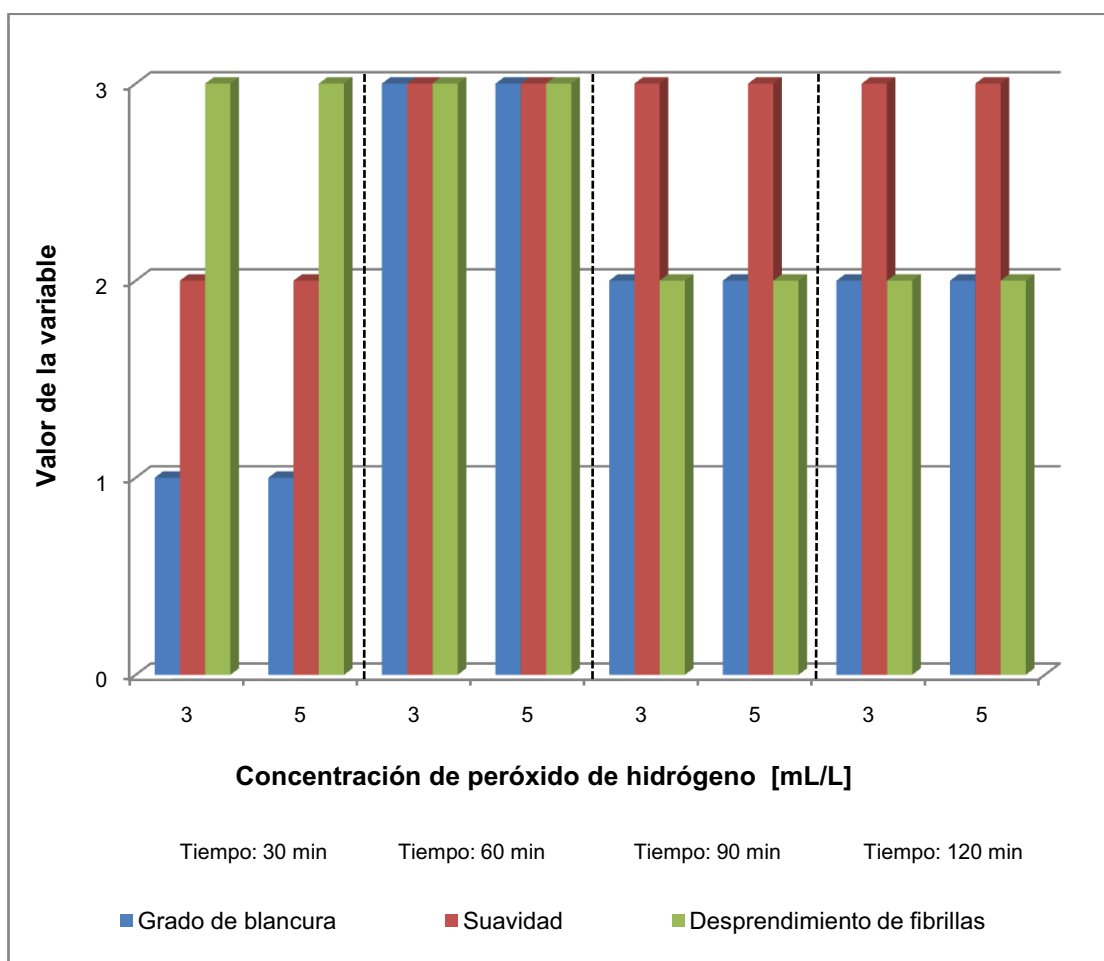
El tratamiento con peróxido a los 90 min y 120 min en las concentraciones de 3 mL/L y 5 mL/L, dieron como resultado fibras con un tono de blanco 2, menor que a los 60 min, puesto que de acuerdo a lo descrito por Casey (1990, p. 853) el peróxido de hidrógeno aparentemente se consumió antes de terminar el proceso de blanqueo y el medio alcalino que combinado con la temperatura, provocaron una disminución en el tono de blanco.

En cuanto al tacto, este fue áspero a los 90 min y 120 min y el desprendimiento de fibrillas para ambos tiempos fue regular, esto se debería a que al estar en un mayor tiempo de contacto la fibra con la solución de blanqueo ocasionó que se disuelva mayor cantidad de hemicelulosa y posiblemente existió una cierta deslignificación, porque el peróxido de hidrógeno es usado como un deslignificante químico según Princeton (2010), lo cual provocó un mayor

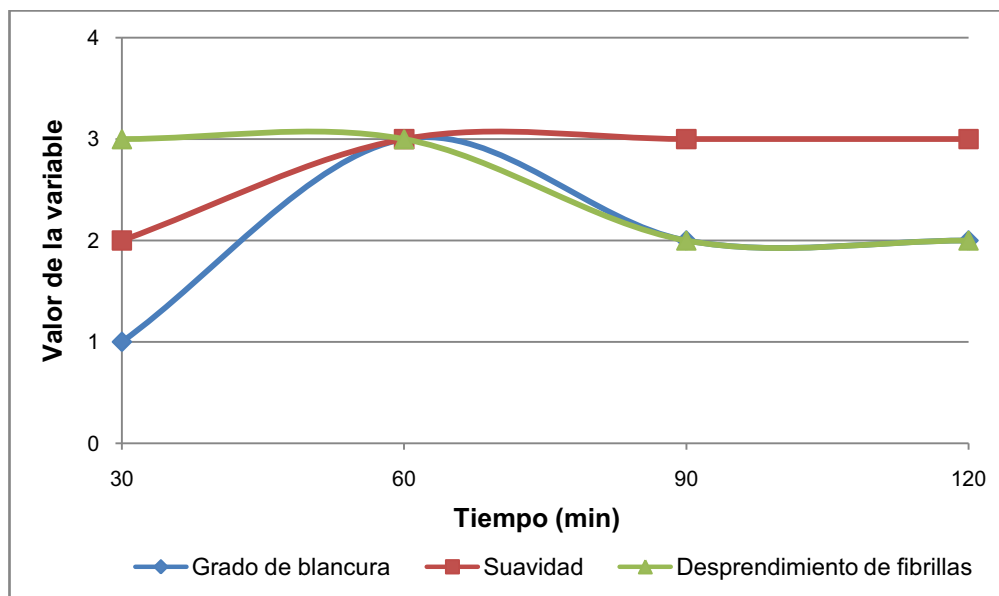
desprendimiento de fibrillas que a los 30 min y 60 min, pero a pesar de que hubo un mayor desprendimiento de fibrillas, al parecer el tratamiento no afectó a la fibra, dado que no hubo un deterioro apreciable de la misma.

En todos los casos el color y brillo fueron uniformes a lo largo de la fibra, debido a la agitación constante en el Lauderómetro y al empleo de humectante, además el blanqueo no fue tan agresivo y por ende, las fibras obtenidas luego del tratamiento se mantuvieron integradas (sin ser quebradizas) comparadas con la fibra descrudada.

En las Figuras 3.4 y 3.5 se visualizan los resultados presentados en la Tabla 3.6 del blanqueo con peróxido de hidrógeno al 35 %.



**Figura 3.4.** Resultados del blanqueo con peróxido de hidrógeno al 35 %



**Figura 3.5.** Resultados del blanqueo con peróxido de hidrógeno al 35 % a concentraciones de 3 mL/L y 5 mL/L

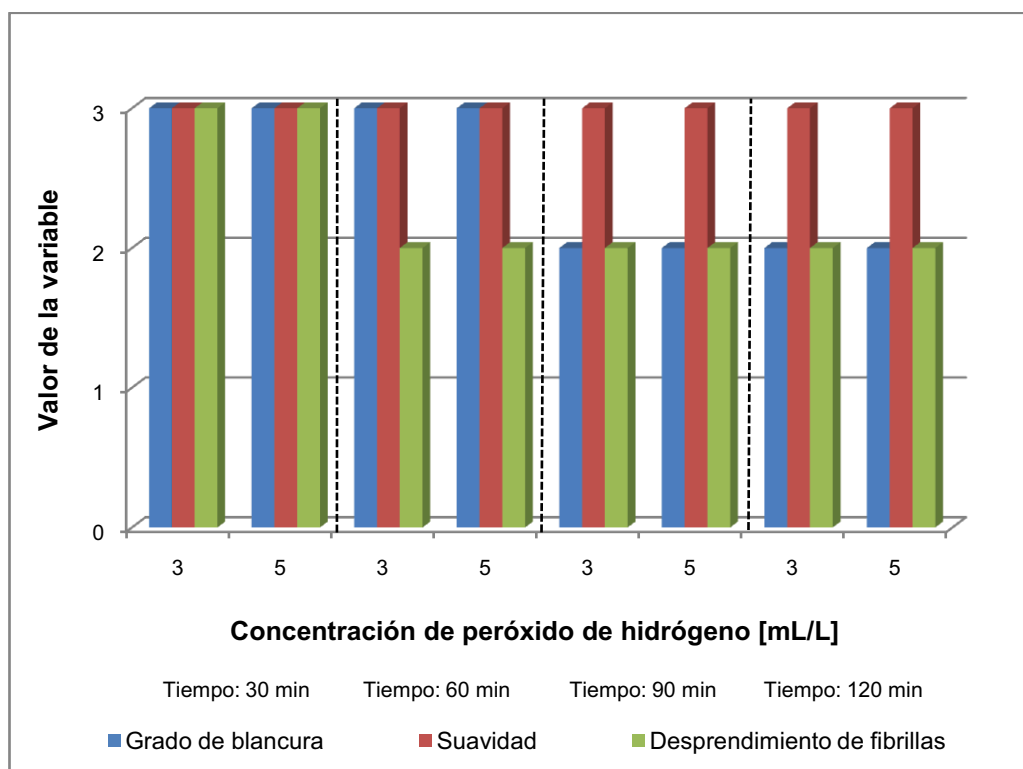
En la Figura 3.4 se presentan gráficos de barras con los resultados alcanzados en el blanqueo con peróxido de hidrógeno al 35 % en concentraciones de 3 mL/L y 5 mL/L, además se aprecia que para estas concentraciones en cada intervalo de tiempo los resultados fueron similares en blancura, suavidad y desprendimiento de fibrillas, en dicha Figura se observa que los mejores resultados tanto a 3 mL/L y 5 mL/L de peróxido de hidrógeno, se alcanzan cuando el proceso se realiza por 60 min. Para visualizar lo señalado de mejor manera, se presentan los mismos resultados en la Figura 3.5, en donde se evidencia que a los 60 min el grado de blancura fue de blanco 3, mayor que a los 30 min en el cual se alcanzó un blanco 1, mientras que a los 90 min y 120 min el tono de blanco disminuyó a blanco 2, debido a que en el primer caso al parecer el tiempo de blanqueo no fue el adecuado, mientras que en el segundo caso tal vez el reactivo se agotó y el medio alcalino combinado con la temperatura hizo que la fibra disminuyera su tono de blanco, además el desprendimiento de fibrillas fue bajo hasta los 60 min y aumentó a regular a los 90 min y 120 min, tiempos en los cuales pudo haber ocurrido una cierta deslignificación y disminución de la cantidad de hemicelulosas, lo que como se explicó anteriormente, liberaría fibrillas que previamente se encontraban protegidas y contenidas en estas sustancias según Casey (1991, p. 168); esto explicaría además el aumento en la aspereza de las fibras.



El tratamiento con peróxido de hidrógeno al 50 % se efectuó a las mismas condiciones de proceso que el realizado con peróxido al 35 %, estos resultados se muestran en la Tabla 3.7 y se visualizan en la Figura 3.6.

**Tabla 3.7.** Resultados del blanqueo con peróxido de hidrógeno al 50 % a diferentes tiempos y temperatura de ebullición

N° ensayo	Blanqueo con peróxido de hidrógeno			Valoración		
	Concentración peróxido de hidrógeno [mL/L]	Silicato de sodio [g/L]	Tiempo (min)	Color	Tacto	Desprendimiento de fibrillas
50	3	0,5	30	Blanco 3	Áspero	Bajo
51	5	1,0		Blanco 3	Áspero	Bajo
52	3	0,5	60	Blanco 3	Áspero	Regular
53	5	1,0		Blanco 3	Áspero	Regular
54	3	0,5	90	Blanco 2	Áspero	Regular
55	5	1,0		Blanco 2	Áspero	Regular
56	3	0,5	120	Blanco 2	Áspero	Regular
57	5	1,0		Blanco 2	Áspero	Regular



**Figura 3.6.** Resultados del blanqueo con peróxido de hidrógeno al 50 %

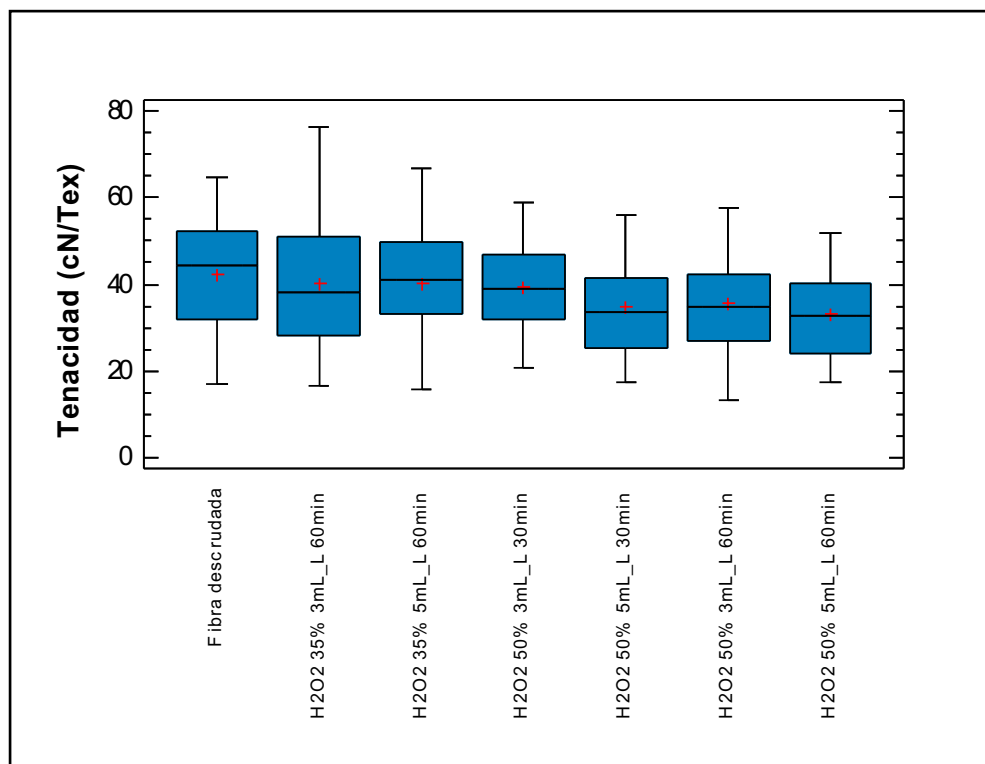
En la Tabla 3.7 y en la Figura 3.6 se observan que a los tiempos de 30 min y 60 min en las concentraciones de 3 mL/L y 5 mL/L de peróxido de hidrógeno al 50 %, las fibras alcanzaron un tono de blanco 3 mayor que aquellas tratadas a los tiempos de 90 min y 120 min cuyo tono fue de blanco 2, esto significaría que tiempos mayores de blanqueo son innecesarios lo que podría ocasionar una disminución en el tono de blanco. Además el tacto para todos los tiempos fue áspero y el desprendimiento de fibrillas fue bajo a los 30 min y regular a partir de los 60 min, ya que como se explicó anteriormente pudo haber existido una cierta disolución de hemicelulosas y una posible deslignificación de la fibra que provocó este mayor desprendimiento de fibrillas.

De lo anteriormente expuesto el mejor tono de blanco alcanzado en el blanqueo de fibra de formio con peróxido de hidrógeno fue el de blanco 3, el cual fue adquirido por las fibras tratadas a los 60 min con peróxido al 35 % en las concentraciones de 3 mL/L y 5 mL/L y a los 30 min y 60 min con peróxido al 50 % en las concentraciones de 3 mL/L y 5 mL/L. Por lo tanto, con el fin de determinar que tratamiento afectó en lo menor posible a las fibras se las sometió a pruebas mecánicas de tensión, para evaluar su tenacidad para lo cual se tomó como patrón de comparación a la fibra descrudada a las condiciones adecuadas.

### **3.2.1.3 Determinación de las condiciones de blanqueo adecuadas**

Como se mencionó anteriormente los resultados del blanqueo con agua oxigenada al 35 % durante 60 min y agua oxigenada al 50 % durante 30 y 60 min, fueron similares, por lo tanto, se realizaron ensayos de tensión bajo la norma ASTM D 3822-96, con el fin de evaluar la tenacidad de la fibra tratada bajo las condiciones citadas y determinar las condiciones que la deterioren en menor grado.

A continuación en la Figura 3.7 se presentan estos resultados, presentados en diagrama de caja y bigotes elaborado con el software Statgraphics Plus. Los datos individuales se encuentran en el Anexo II.



**Figura 3.7.** Diagrama de caja y bigotes de la tenacidad de las fibras de formio descrudada y blanqueadas a diferentes condiciones

Al realizar el análisis estadístico ANOVA presentado en el Anexo III, con un grado de confianza del 95 %, se determinó que el tratamiento de blanqueo con peróxido de hidrógeno afectó la resistencia a la tracción de la fibra debido a que hubo una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las tenacidades de la fibra descrudada con aquellas que fueron blanqueadas a las condiciones señaladas anteriormente. Adicionalmente, al realizar el análisis de diferencias menos significativas (LSD) de Fisher, el cual determina las medias que son significativamente diferentes unas de otras, indicó que existió una diferencia estadísticamente significativa entre la fibra descrudada con aquellas tratadas al 50 % de peróxido de hidrógeno de 5 mL/L a los 30 min y de 3 mL/L y 5mL/L a los 60 min, en donde se observó que la tenacidad de las fibras disminuyó con respecto a la fibra descrudada probablemente por la disolución de una cierta cantidad de hemicelulosas y disminución de lignina presentes en las fibras debido a que como se explicó anteriormente el peróxido de hidrógeno según Princeton (2010) es un deslignificante químico, y al eliminar parte de este material cementante según Casey (1990, p. 72) las fibras serán menos resistentes a las

pruebas de tensión. Los valores de tenacidad obtenidos se observan en la Tabla 3.8.

**Tabla 3.8.** Tenacidad media de las fibras descrudada a las condiciones adecuadas y blanqueadas

Tipo de tratamiento	Condiciones	Tiempo (min)	Tenacidad (cN/Tex)	Diferencia estadística
Descrude	NaOH 2 g/L	30	42,18	No
Blanqueo	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 35 %, 3 mL/L	60	40,14	No
Blanqueo	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 35 %, 5 mL/L	60	40,04	No
Blanqueo	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 50 %, 3 mL/L	30	39,33	No
Blanqueo	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 50 %, 5 mL/L	30	34,73	Si
Blanqueo	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 50 %, 3 mL/L	60	35,65	Si
Blanqueo	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 50 %, 5 mL/L	60	33,07	Si

Debido a que no existió una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las tenacidades de la fibra descrudada con aquellas blanqueadas con peróxido de hidrógeno al 35 % en concentraciones de 3 mL/L y 5 mL/L a 60 min y peróxido de hidrógeno al 50 % en concentración de 3 mL/L a 30 min, se analizó el tiempo de blanqueo, porque si es menor implicaría un ahorro de energía así como evitaría gastos de producción inútiles, es por ello que se escogió el blanqueo con 50 % de peróxido de hidrógeno 3mL/L durante 30 min, cuyo tono de blanco alcanzado fue bueno de blanco 3, el tacto áspero y el desprendimiento de fibrillas bajo, lo que indicaría que este proceso de blanqueo no afectó las propiedades de la fibra debido a que posiblemente las estructuras que le dan resistencia a la fibra como la celulosa y lignina no fueron afectadas, esto fue corroborado con el análisis estadístico en donde la fibra blanqueada a estas condiciones no disminuyó estadísticamente su resistencia a la tracción con respecto a la fibra descrudada a condiciones adecuadas.

En la Tabla 3.9 se muestran las condiciones adecuadas para el blanqueo con peróxido de hidrógeno.

**Tabla 3.9.** Condiciones de blanqueo adecuadas con peróxido de hidrógeno

Variable	Valor
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 50 %	3 mL/L
Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	0,5 g/L
Tiempo	30 min
Humectante	0,75 g/L
Razón licor	1:25
Temperatura	Ebullición

De los mejores resultados obtenidos de blanqueo con hipoclorito de sodio y peróxido de hidrógeno, se puede decir que los tratamientos con peróxido de hidrógeno son mucho más efectivos, porque el tono de blanco alcanzado fue mayor.

En la Figura 3.8 se muestran las fibras resultantes del blanqueo con peróxido de hidrógeno y descruce.



**Figura 3.8.** Comparación de las fibras de formio (A) descruadas con 2 g/L de NaOH y temperatura de ebullición y (B) descruadas a las condiciones descritas en (A) y blanqueadas con H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 50 %, 3 mL/L por 30 min

Como se puede observar en la Figura 3.8, las fibras blanqueadas poseen mayor tono de blanco que las fibras solamente descruadas, por lo tanto, el proceso empleado desde el descruado fue efectivo, puesto que al hacer que la fibra sea más hidrofílica, permitió que los reactivos de blanqueo ingresaran uniformemente en su interior, lo cual dio como resultado una fibra de buena apariencia. La fibra blanqueada a las condiciones apropiadas fue utilizada en los ensayos experimentales de suavizado químico y enzimático.

### 3.2.2 SUAVIZADO

Las fibras de formio obtenidas luego del tratamiento de blanqueo, eran poco flexibles y ásperas, lo cual dificultaría el proceso de hilado. Además, existen dos elementos principales que hacen que la fibra sea rígida y resistente, estos elementos son la lignina y la celulosa. Es por ello que se realizaron ensayos con el fin de disminuir la rigidez de la fibra, en los que unos fueron destinados a remover parte de la lignina y otros, a crear zonas amorfas en la estructura cristalina de la celulosa.

Debido a que los procesos anteriores no estuvieron destinados a disminuir la rigidez de la fibra, fue necesario realizar tratamientos de suavizado con el fin de otorgarle flexibilidad y por ende facilitar su torsión y cohesión, es decir, permitir el entrelazamiento entre fibras y evitar que estas se resbalen del hilo y ocasionen falta de resistencia a la tensión del mismo en el eje longitudinal.

Existen varios métodos para lograr que las fibras disminuyan su rigidez y por tanto, facilitar la cohesión entre fibras para permitir su torsión y formar el hilo.

En este trabajo se evaluó el suavizado con sulfito de sodio-hidróxido de sodio y el suavizado con celulasa ácida. El primero permitió disminuir la rigidez de la fibra mediante la eliminación de parte de la lignina con la finalidad de otorgarle flexibilidad. El segundo método también disminuyó la rigidez de la fibra (propiedad adquirida por la presencia de zonas cristalinas en la celulosa), pero mediante el

uso de una enzima de celulasa, la misma que incrementa las zonas amorfas en la celulosa con el fin de otorgar flexibilidad a la fibra.

### **3.2.2.1 Suavizado con sulfito de sodio-hidróxido de sodio**

En este método, el sulfito de sodio permite que parte de la lignina se disuelva, mientras que la lignina restante es hinchada y ablandada como consecuencia de la sulfonación y la acción mecánica de rulimanes de acero, todo esto hace que las fibras disminuyan su rigidez.

Para conseguir fibras más flexibles y suaves, se realizaron pruebas en las que se mantuvo la concentración de sulfito de sodio y se varió la concentración de hidróxido de sodio, así como los tiempos y las temperaturas con el fin de determinar las condiciones que no produzcan daños a la fibra o que este daño sea mínimo para de esta manera obtener fibras íntegras y así conseguir hilos resistentes, tal que soporten el proceso de tisaje.

Gracias a la realización de pruebas preliminares se consideró necesario el uso de rulimanes de acero, es decir, suavizado mecánico, porque en el tratamiento sin ellos, las fibras obtenidas todavía eran ásperas y poco flexibles, estos rulimanes se los utilizó con el fin de golpear a las fibras contra las paredes del envase del Launder-O-Meter, para ablandarla y facilitar el ingreso de los reactivos, con el objeto de lograr flexibilidad en ellas y facilitar la torsión en el hilado.

Se varió el número de rulimanes de acero de diámetro 6 mm desde 5, 10, 20 hasta 30, los resultados obtenidos con 20 y 30 rulimanes no fueron los esperados puesto que el maltrato a la fibra fue evidente lo que indicó que una mayor cantidad de rulimanes podría llegar a destruirla, pero una pequeña cantidad no produjo ningún efecto dado que la fibra tratada con 5 rulimanes era todavía áspera y poco flexible. En cambio al utilizar 10 rulimanes el maltrato a la fibra fue mínimo. Con el fin de establecer más puntos de contacto entre la fibra y los rulimanes se pesaron estos 10 rulimanes y se trabajó también con rulimanes de 4

y 5 mm de diámetro cuyo conjunto pesara similar a los 10 rulimanes de 6 mm de diámetro. Este peso de rulimanes se mantuvo para los posteriores ensayos en los que se varió la concentración de reactivos, tiempo y temperatura.

Para evaluar el efecto de cada condición de tratamiento sobre la fibra a más de la suavidad al tacto y el desprendimiento de fibrillas, se analizó también la facilidad de cohesión entre fibras, para lo cual se realizó un torsionado manual, con el fin de observar si las fibras se enlazaban unas con otras, y así predecir su comportamiento al momento de torsionarle en la rueca eléctrica. Estos resultados se presentan en la Tabla 3.10.

**Tabla 3.10.** Resultados del suavizado con sulfito de sodio al 1 % a 60 °C a diferentes concentraciones de hidróxido de sodio y tiempos

N° ensayo	Suavizado con sulfito de sodio-hidróxido de sodio		Valoración		
	Hidróxido de sodio [%]	Tiempo (min)	Suavidad	Desprendimiento de fibrillas	Cohesión
58	1	30	Áspero	Bajo	Baja
59	3		Áspero	Bajo	Baja
60	5		Áspero	Bajo	Baja
61	10		Áspero	Bajo	Baja
62	1	60	Áspero	Bajo	Regular
63	3		Áspero	Bajo	Regular
64	5		Áspero	Bajo	Regular
65	10		Menos áspero	Regular	Moderada
66	1	90	Áspero	Bajo	Regular
67	3		Áspero	Bajo	Regular
68	5		Menos áspero	Bajo	Moderada
69	10		Regularmente suave	Regular	Moderada
70	1	120	Áspero	Bajo	Regular
71	3		Áspero	Bajo	Regular
72	5		Menos áspero	Regular	Moderada
73	10		Regularmente suave	Alto	Moderada



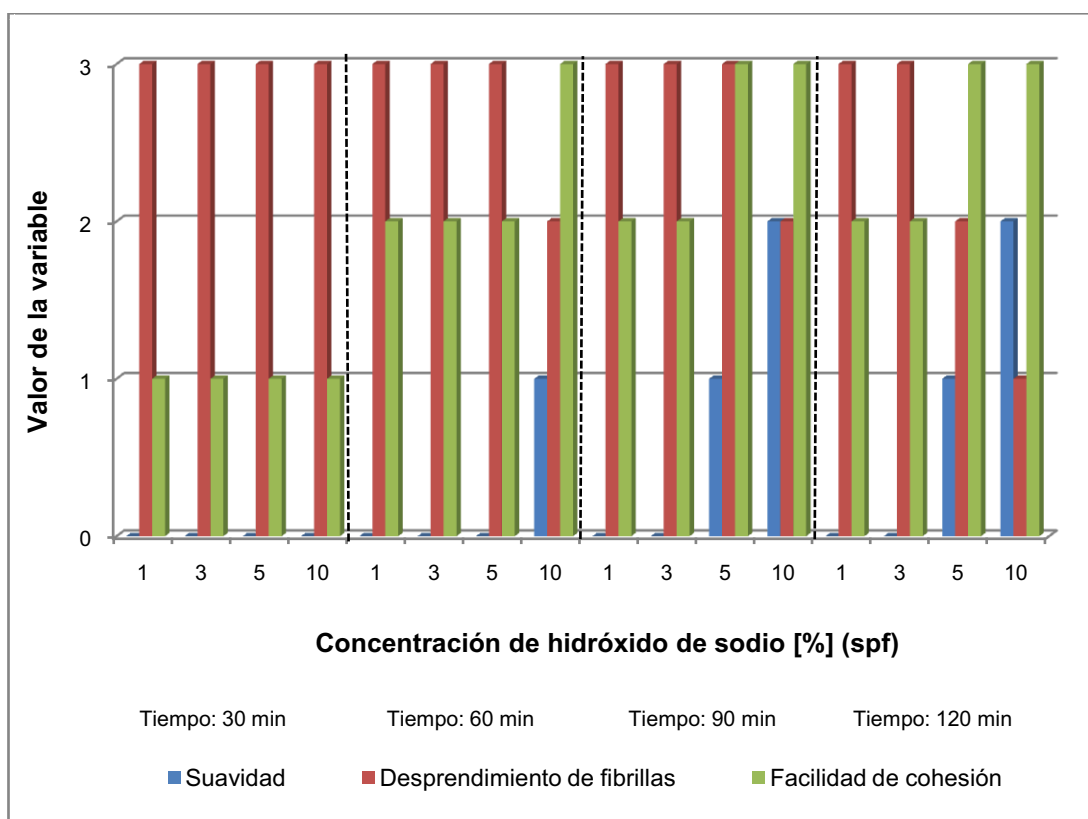
El suavizado con sulfito de sodio a los 30 min a 60 °C no fue efectivo debido a que como se observa en la Tabla 3.10, las fibras a las diferentes concentraciones de hidróxido de sodio todavía mantuvieron un tacto áspero, la facilidad de cohesión entre las fibras fue baja, lo que indicó que las fibras todavía no eran flexibles y, por ende, la torsión en el proceso de hilatura en la rueca eléctrica sería dificultosa. En cuanto al desprendimiento de fibrillas esta fue baja por el golpeteo de los rulimanes contra la fibra y por lo tanto, probablemente la fibra no tuvo daños apreciables en su estructura.

La facilidad de cohesión entre fibras tratadas a los 60 min a las diferentes concentraciones de hidróxido de sodio fue mayor que a los 30 min, debido a que bajo estas condiciones hubría un mayor ablandamiento de la fibra, sin que probablemente esto haya ocasionado una disolución de la lignina, pues el desprendimiento de fibrillas no cambia hasta el 5 % de hidróxido de sodio, pero este ablandamiento no fue suficiente como para disminuir la aspereza de la fibra, ya que se mantuvo, lo que indicó que bajo estas condiciones la fibra todavía no se ha suavizado pese a que la facilidad de cohesión aumentó. Sin embargo, al 10 % de hidróxido de sodio a este mismo tiempo, se observó que la facilidad de cohesión fue moderada y el desprendimiento de fibrillas aumentó, además el tacto fue menos áspero, lo que indicaría que bajo estas condiciones se degradó parte de la lignina que junto con la acción mecánica otorgaron un mayor ablandamiento con respecto a los 30 min, lo que hizo que la fibra sea más flexible y suave sin que esto llegue a deteriorarla debido a que su apariencia fue similar a la fibra blanqueada a las condiciones adecuadas.

A los tiempos de 90 min y 120 min, para la concentración de 5 % de hidróxido de sodio el tacto fue menos áspero y la facilidad de cohesión entre fibras aumentó con respecto a los anteriores tiempos, esto se debería a la disminución de la rigidez de la fibra por la degradación y ablandamiento de la lignina lo cual según Guerrón (2005, p. 114) la hizo más flexible y suave y por ende se facilitó la cohesión también influenciada por las fibrillas unidas a la fibra principal las cuales facilitan el entrelazamiento fibra-fibra. Además el desprendimiento de fibrillas fue mayor a los 120 min que a los 90 min, por el mayor tiempo de tratamiento.

En cuanto al desprendimiento de fibrillas al 10 % de hidróxido de sodio a los 120 min, este fue alto, lo que indicaría que las fibras comenzaron a tener daños apreciables en su estructura debido al mayor tiempo de contacto con los rulimanes y con el baño de suavizado, que dio como resultado una apariencia frágil y desgastada, sin llegar a convertirse en pulpa, con respecto a la fibra blanqueada a las condiciones adecuadas, esto demostró un maltrato evidente y por ende la fibra se rompería fácilmente si fuese sometida a una torsión excesiva. Pese a esto, la fibra adquirió una suavidad al tacto de regularmente suave aunque la temperatura no fue la adecuada debido a que la fibra adquirió esta fragilidad por el tiempo al que estuvo expuesta a la abrasión mecánica.

Para visualizar mejor el efecto del suavizado con sulfito de sodio-hidróxido de sodio a 60 °C sobre cada variable (suavidad, desprendimiento de fibrillas y cohesión) a diferentes tiempos se realizó un gráfico, con los resultados mostrados en la Tabla 3.10, el cual se muestra en la Figura 3.9.



**Figura 3.9.** Resultados del suavizado con sulfito de sodio-hidróxido de sodio a 60 °C

De los resultados obtenidos de suavizado a 60 °C se descartó este proceso a esta temperatura porque la facilidad de cohesión entre las fibras y la suavidad al tacto todavía no fueron los adecuados, es por ello que se aumentó la temperatura a 75 °C, cuyos resultados se muestran en la Tabla 3.11.

**Tabla 3.11.** Resultados del suavizado con sulfito de sodio al 1 % a 75 °C a diferentes concentraciones de hidróxido de sodio y tiempos

Nº ensayo	Suavizado con sulfito de sodio-hidróxido de sodio		Valoración		
	Hidróxido de sodio [%]	Tiempo (min)	Suavidad	Desprendimiento de fibrillas	Facilidad Cohesión
74	1	30	Áspero	Bajo	Baja
75	3		Áspero	Bajo	Baja
76	5		Menos áspero	Bajo	Regular
77	10		Menos áspero	Bajo	Regular
78	1	60	Menos áspero	Bajo	Regular
79	3		Regularmente suave	Regular	Moderada
80	5		Regularmente suave	Alto	Moderada
81	10		Regularmente suave	Alto	Moderada
82	1	90	Menos áspero	Regular	Regular
83	3		Regularmente suave	Regular	Moderada
84	5		Suave	Alto	Regular
85	10		Suave	Alto	Regular
86	1	120	Menos áspero	Regular	Regular
87	3		Regularmente suave	Alto	Moderada
88	5		Regularmente suave	Alto	Baja
89	10		Áspero	Excesivo	-----

En la Tabla 3.11 se aprecia que a los 30 min las fibras fueron menos ásperas al 5 % y 10 % de hidróxido de sodio con respecto al 1 % y 3 % de hidróxido de sodio esto se debería a que existió un ablandamiento mayor sin variar el desprendimiento de fibrillas porque posiblemente no se ha removido lignina, pero este ablandamiento no fue suficiente como para lograr una buena cohesión entre

fibras a pesar que la cohesión sea mayor con respecto al 1 % y 3 % de hidróxido de sodio a este mismo tiempo.

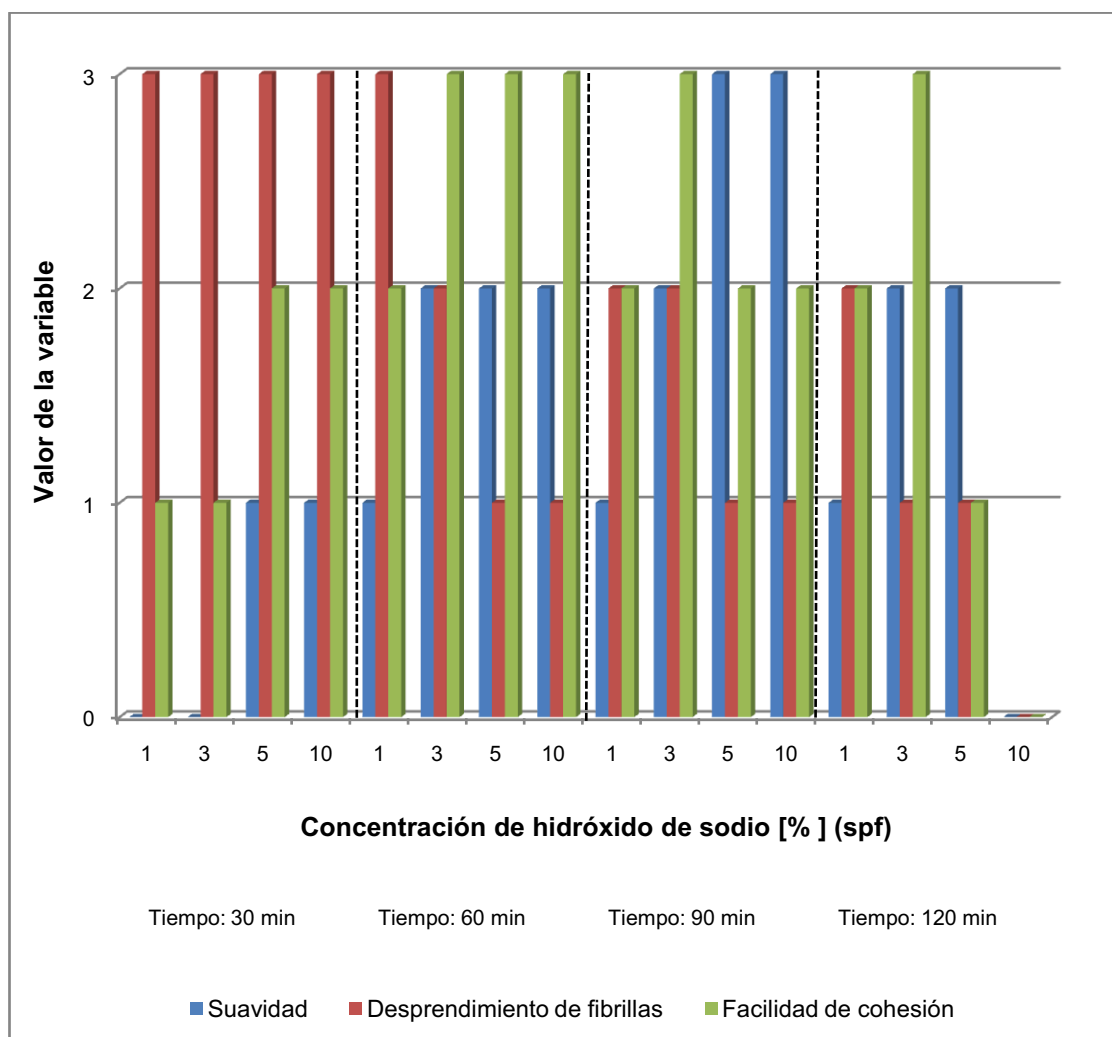
A los 60 min, la suavidad al tacto y la facilidad de cohesión entre fibras fue mayor que a los 30 min a partir del 1 % hasta el 10 % de hidróxido de sodio. En cuanto al desprendimiento de fibrillas, esta fue mayor al 5 % y 10 % que al 3 % de hidróxido de sodio en la que, la apariencia de la fibra todavía se mantuvo, aunque para las concentraciones de 5 % y 10 % de hidróxido de sodio se comenzó a notar una fibra un poco maltratada a causa del mayor desprendimiento de fibrillas, lo que demostró que aparte del ablandamiento de la fibra, hubo una reacción entre los reactivos con la lignina y con otros compuestos no celulósicos.

A los 90 min se observa que a pesar que se consiguió un tacto suave en las concentraciones de 5 % y 10 % de hidróxido de sodio, la facilidad de cohesión disminuyó con respecto a los 60 min, debido a la formación de motas en ciertas zonas, específicamente en las zonas en las que la fibra es más delgada, porque al tratarse de una fibra natural, esta no tiene una sección transversal uniforme a lo largo de toda su longitud y por ende estas zonas serán las más fácilmente atacadas por la abrasión mecánica, que juntamente con la concentración de hidróxido de sodio, ocasionaron una mayor deslignificación con una mayor formación de fibrillas que se enredaron y originaron esta formación de motas. Esto dificultó la cohesión entre fibras en estas zonas, sin embargo, estas motas pudieron ser removidas gracias al peinado que se le dio a la fibra, el cual ocasionó un desprendimiento de fibrillas alto, además se originaron segmentos de fibra más pequeños a causa del rompimiento de la fibra al peinarla, puesto que a estas concentraciones de hidróxido de sodio, tiempo y temperatura se apreció un deterioro de la fibra. Sin embargo, la eliminación de estas motas, facilitó la cohesión, pero esta fue dificultosa por las fibras de menor longitud que tendieron a salirse de las fibras torsionadas.

A los 120 min el tacto fue regularmente suave al 3 % y 5 % de hidróxido de sodio con respecto al 1 % y 10 % de hidróxido de sodio con un tacto menos áspero y áspero respectivamente, debido a que en este último se formó pulpa, lo que no

permitió el paso de la carda a través de las fibras, ahora unidas entre sí en una sola masa. La facilidad de cohesión al 5 % de hidróxido de sodio se dificultó debido a que en este caso hubo una mayor formación de motas y el tratar de removerlas, ocasionaría la destrucción de la fibra larga a segmentos mucho menores que a los 90 min, por lo tanto se optó por tratar de cohesionarla con todo y motas, lo que ocasionó que disminuyera esta facilidad de cohesión. Además esto provocó que la suavidad al tacto se reduzca a regularmente suave por las motas que se encontraban unidas.

En la Figura 3.10 se aprecia los resultados presentados en la Tabla 3.11 del suavizado con sulfito de sodio-hidróxido de sodio a 75 °C sobre la fibra.



**Figura 3.10.** Resultados del suavizado con sulfito de sodio-hidróxido de sodio a 75 °C

De lo expuesto en la Tabla 3.11 y como se observa en la Figura 3.10 se puede apreciar que se lograron buenos resultados a los 60 y 90 min con una concentración de hidróxido de sodio del 3 % dado que el tacto fue regularmente suave, además el daño a la fibra a estas condiciones aparentemente fue mínimo, porque el desgaste por desprendimiento de fibrillas para ambos tiempos fue regular, con una cohesión moderada, por lo tanto esta temperatura de 75 °C tampoco fue la adecuada como para permitir una mayor flexibilidad y suavidad en la fibra y por ende aumentar su cohesión y facilidad de torsionado, cosa que no sucede al 5 % y 10 % de hidróxido de sodio a los 90 min, en donde a pesar de que se logró un efecto suave al tacto, el desprendimiento de fibrillas fue alto lo que mostró un daño a la fibra evidente, lo cual afectará sus propiedades mecánicas, esto quiere decir que la suavidad y facilidad de cohesión de la fibra dependerán no solamente de la concentración de hidróxido de sodio sino también del tiempo y de la temperatura del tratamiento, debido a que un incremento de esta en este proceso requerirá menor tiempo de contacto de la fibra con los rulimanes para evitar su deterioro. Por lo que, estos resultados si bien fueron buenos no eran los esperados, y por ende, se aumentó la temperatura hasta la ebullición con el fin de evaluar su efecto sobre las fibras y con ello determinar las condiciones a las cuales la fibra se torsione fácilmente para que el proceso de hilatura sea sencillo de realizar.

A continuación en la Tabla 3.12 se muestran los resultados del suavizado con sulfito de sodio-hidróxido de sodio a temperatura de ebullición.

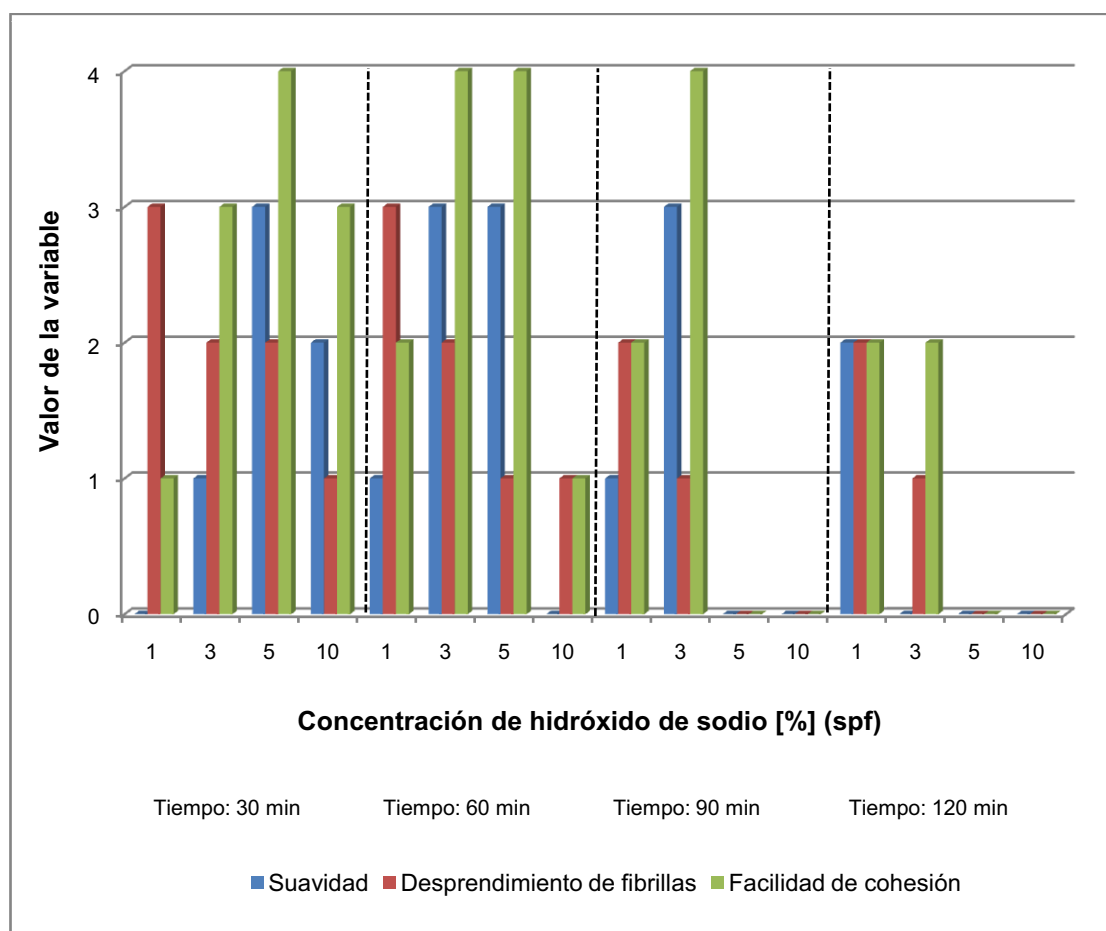
**Tabla 3.12.** Resultados del suavizado con sulfito de sodio al 1 % a temperatura de ebullición a diferentes concentraciones de hidróxido de sodio y tiempos

N° ensayo	Suavizado con sulfito de sodio-hidróxido de sodio		Valoración		
	Hidróxido de sodio [%]	Tiempo (min)	Suavidad	Desprendimiento de fibrillas	Facilidad Cohesión
90	1	30	Áspero	Bajo	Baja
91	3		Menos áspero	Regular	Moderada
92	5		Suave	Regular	Buena
93	10		Regularmente suave	Alto	Moderada
94	1	60	Menos áspero	Bajo	Regular
95	3		Suave	Regular	Buena
96	5		Suave	Alto	Buena
97	10		Áspero	Alto	Baja
98	1	90	Menos áspero	Regular	Regular
99	3		Suave	Alto	Buena
100	5		Áspero	Excesivo	-----
101	10		Áspero	Excesivo	-----
102	1	120	Regularmente suave	Regular	Regular
103	3		Áspero	Alto	Regular
104	5		Áspero	Excesivo	-----
105	10		Áspero	Excesivo	-----

En la Tabla 3.12 se observa que se alcanzó un tacto suave a los 30 min de tratamiento con 5 % de hidróxido de sodio con un desprendimiento de fibrillas regular y una buena facilidad de cohesión, sin embargo, conforme aumentó el tiempo a esta concentración el riesgo del deterioro de la fibra fue inminente y se manifestó por un mayor desprendimiento de fibrillas a los 60 min y la formación de pulpa a los 90 min y 120 min, lo cual se debería a que existió una mayor deslignificación de la fibra, lo que hizo imposible el peinado de las fibras y por tanto, ya no existió la fibra como filamento, sino como una masa de fibrillas formada probablemente por celulosa en su mayoría.

Además se observó que al tiempo de 60 min, a la concentración de hidróxido de sodio de 3 %, las condiciones de suavizado también fueron buenas. A estas

condiciones, el daño a la fibra comenzó a partir de los 90 min hasta los 120 min, en los que el desgaste por fibrilación fueron altos, con una buena y regular facilidad de cohesión respectivamente, debido a que en este último existió la formación de motas en ciertas zonas, mismas que al momento de eliminarlas con el peinado se produjeron fibras de menor tamaño que dificultaron la cohesión. Lo mostrado en la Tabla 3.12, se aprecia en la Figura 3.11 presentada a continuación.



**Figura 3.11.** Resultados del suavizado con sulfito de sodio-hidróxido de sodio a temperatura de ebullición

De lo mencionado anteriormente se aprecia que los mejores resultados de suavizado con sulfito de sodio-hidróxido de sodio, se obtienen a los 30 min con 5 % de hidróxido de sodio y a los 60 min con 3 % de hidróxido de sodio a temperatura de ebullición, cuyas fibras fueron suaves con un desprendimiento de



fibrillas regular y cohesión buena, las condiciones adecuadas de suavizado con sulfito de sodio se muestran en la Tabla 3.13.

**Tabla 3.13.** Condiciones de suavizado adecuadas con sulfito de sodio 1 %

Variable	Valor	
NaOH	5 %	3 %
Tiempo	30 min	60 min
Humectante	0,5 %	
Razón licor	1:40	
Temperatura	Ebullición	

A pesar de que aparentemente los resultados fueron buenos, se observó que las fibras tratadas bajo las condiciones mostradas en la Tabla 3.13 presentaron una apariencia maltratada con respecto a la fibra blanqueada a las condiciones adecuadas, debido a que los reactivos utilizados a más de reaccionar con la lignina de la fibra, degradarla y liberar las fibrillas de celulosa, al parecer hidrolizaron carbohidratos (hemicelulosas) de acuerdo a lo descrito por Pereira et al. (2011, p. 225), que junto con el tratamiento mecánico de los rulinanes, provocaron esta apariencia, manifestada por fibrillas que no se desprendieron al momento de peinar la fibra y estuvieron unidas a la fibra principal. Sin embargo, esto supondría una ventaja ya que facilita la cohesión entre fibras, porque estas fibrillas al entrelazarse con las fibrillas de otra fibra, aumentaron los puntos de contacto y por ende existió mejor cohesión entre ellas.

Sin embargo, pese a que las pequeñas fibras que quedan adheridas a la pared central de las fibras ayudan al entrelazamiento fibra-fibra, esto no es tan favorable para aquellos textiles que sean sometidos a procesos de abrasión, tales como guantes, rodilleras, medias, etc, debido a que estas fibrillas superficiales tenderían a salirse del hilo y tejido formados y contribuirían a una formación prematura de motas.

Con el fin de causar el menor daño a la estructura de la fibra se aplicó un método alternativo, el cual sea selectivo por la celulosa y no dañe al resto de

componentes de la fibra. Este método consistió de un suavizado con una enzima celulasa.

### **3.2.2.2 Suavizado con enzima celulasa**

Como se sabe los métodos químicos se caracterizan por la poca selectividad, y por tanto, a más de reaccionar con la lignina, reaccionarán con otros compuestos no celulósicos, inclusive con la celulosa, lo cual afectará la resistencia de la fibra. Por lo tanto la concentración de reactivos, temperatura y tiempo juegan un papel importante al momento de realizar estos procesos. Es por ello que se ha buscado una alternativa a estos procesos como son los métodos enzimáticos, los mismos que son selectivos y a la vez permiten reducir el impacto ambiental (Repamar, 2000).

El proceso de suavizado con enzima celulasa tiene la característica de ser selectiva con el sustrato con el que va a reaccionar, sin provocar daños a otros constituyentes de la fibra, esto es reaccionará específicamente con la celulosa y originará la formación de más zonas amorfas en la cadena, lo que hará a la fibra más flexible y por ende facilitará el proceso de hilatura.

Mediante pruebas preliminares se determinó la necesidad del uso de rulimanes de acero de 6 mm de diámetro, ya que la aspereza y rigidez de la fibra no disminuyeron al utilizar solamente la enzima, es por ello que se varió la cantidad de rulimanes desde 10, 15, 20 hasta 30, en donde 10 rulimanes no produjeron resultados favorables en el ablandamiento de la fibra, mientras que los 20 y 30 rulimanes deterioraron demasiado la fibra. Por lo tanto, la cantidad de rulimanes a usar fue de 15 rulimanes. Con el fin de aumentar los puntos de contacto de los rulimanes con la fibra, se usaron también rulimanes de 4 mm y 5 mm de diámetro, con un peso total equivalente al de los 15 rulimanes de 6 mm de diámetro.

Con el fin de evaluar las mejores condiciones de suavizado con celulasa, se variaron los tiempos de suavizado y las concentraciones de celulasa, estos resultados se muestran en la Tabla 3.14.

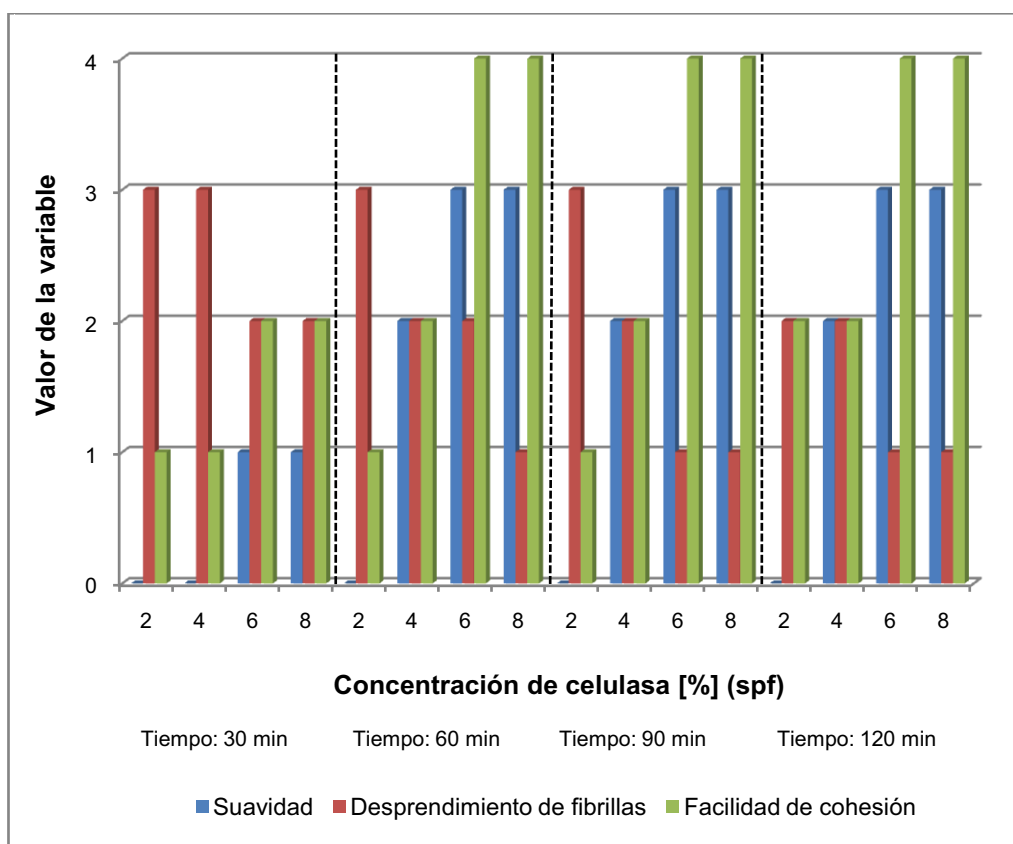
**Tabla 3.14.** Resultados del suavizado con celulasa ácida a temperatura de 55 °C

N° ensayo	Suavizado con celulasa		Valoración		
	Celulasa ácida [%]	Tiempo (min)	Suavidad	Desprendimiento de fibrillas	Facilidad Cohesión
106	2	30	Áspero	Bajo	Baja
107	4		Áspero	Bajo	Baja
108	6		Menos áspero	Regular	Regular
109	8		Menos áspero	Regular	Regular
110	2	60	Áspero	Bajo	Baja
111	4		Regularmente suave	Regular	Regular
112	6		Suave	Regular	Buena
113	8		Suave	Alto	Buena
114	2	90	Áspero	Bajo	Baja
115	4		Regularmente suave	Regular	Regular
116	6		Suave	Alto	Buena
117	8		Suave	Alto	Buena
118	2	120	Áspero	Regular	Regular
119	4		Regularmente suave	Regular	Regular
120	6		Suave	Alto	Buena
121	8		Suave	Alto	Buena

En la Tabla 3.14 se observa que las mejores condiciones de suavizado son a 6 % de celulasa por un tiempo de 60 min, en donde el desprendimiento de fibrillas fue regular, debido a que según lo descrito por Lis (2002, pp. 9-10) la acción de la enzima es la de atacar parte de la zona cristalina de la celulosa volviéndola amorfa, además ayudó a remover las fibrillas originadas en combinación con la abrasión mecánica, lo que contribuyó a disminuir la rigidez de la fibra, lo cual facilitó la cohesión y le otorgó suavidad. La fibra tratada bajo estas condiciones puede no ser muy afectada en sus propiedades mecánicas, como sucedió en el caso del suavizado con sulfito de sodio-hidróxido de sodio, debido a que en este

tratamiento la fibra perdería principalmente parte del material cementante, en comparación con este método en el cual la lignina no fue afectada porque no se utilizaron reactivos que puedan disolverla gracias a la selectividad de la enzima.

Sin embargo, tiempos mayores de 60 min y concentraciones de celulasa de 6 % y 8 %, maltrataron a las fibras por la interacción de estas con los rulimanes mismos que las golpearon contra las paredes del envase, esto se observó en el desgaste por desprendimiento de fibrillas, el cual fue alto, sin embargo, la facilidad de cohesión fue buena y la fibra suave. Esto mostró que el tratamiento con celulasa bajo estas condiciones no ocasionaría un daño muy evidente en las fibras como sucedió en el caso del sulfito de sodio-hidróxido de sodio, en donde una alta concentración de hidróxido de sodio a temperaturas altas y por largos períodos de tiempo provocarían la destrucción de la fibra con la formación de pulpa, ya que existiría una gran deslignificación. A continuación en la Figura 3.12 se aprecia los resultados del suavizado con celulasa ácida mostrados en la Tabla 3.14.



**Figura 3.12.** Resultados del suavizado con celulasa ácida

### 3.2.2.3 Selección del método de suavizado

El objetivo de los tratamientos de suavizado es facilitar el posterior hilado, los cuales otorgan a la fibra flexibilidad y cohesión y por tanto la facilidad de torsionado, con un deterioro mínimo de la fibra, lo cual es importante para obtener tejidos de buenas propiedades. Con base en esto, los ensayos de suavizado con sulfito de sodio-hidróxido de sodio y celulasa ácida estuvieron destinados a la obtención de fibras aptas para el hilado. A continuación en la Figura 3.13 se muestran las fibras obtenidas después de estos tratamientos.



**Figura 3.13.** Fibras de formio (A) suavizadas con celulasa, (B) suavizadas con sulfito de sodio-hidróxido de sodio

En el tratamiento de suavizado con sulfito de sodio-hidróxido de sodio se obtuvo una fibra con propiedades como suavidad, flexibilidad y facilidad de cohesión, sin embargo se obtuvo una fibra más desgastada que la obtenida del tratamiento enzimático, en donde se alcanzaron las mismas propiedades con un mínimo daño a la fibra. En la Figura 3.13 se observa que la fibra tratada con sulfito de sodio-hidróxido de sodio presenta una apariencia más maltratada que la fibra obtenida a las condiciones adecuadas con enzima celulasa, como se mencionó anteriormente. Además se aprecia que la fibra suavizada con sulfito de sodio-

hidróxido de sodio presenta más fibrilaciones que la suavizada con celulasa. De lo anteriormente expuesto se escogió como el mejor método de suavizado el realizado con la enzima celulasa.

#### **3.2.2.4 Determinación de las mejores condiciones del método de suavizado seleccionado**

En la Tabla 3.14 y en la Figura 3.12 se observaron que los mejores resultados de suavizado con celulasa se obtienen a los 60 min, con una concentración de celulasa de 6 %, porque a estas condiciones el maltrato a la fibra aparentemente fue mínimo. A continuación en la Tabla 3.15 se muestran estas condiciones de suavizado.

**Tabla 3.15.** Condiciones de suavizado adecuadas con celulasa

<b>Variable</b>	<b>Valoración</b>
Celulasa ácida	6 %
Tiempo	60 min
Ácido acético	10 %
Razón licor	1:25
Temperatura	55 °C

Las fibras tratadas bajo las condiciones descritas en la Tabla 3.15 presentaron un tacto suave, con un desprendimiento de fibrillas regular y una buena facilidad de cohesión, la cual ayudará a que las fibras torsionadas en el proceso de hilatura, se mantengan juntas sin necesidad de aplicar una torsión alta.

#### **3.2.2.5 Determinación del título y de la tenacidad de la fibra cruda y de la fibra apta para el hilado**

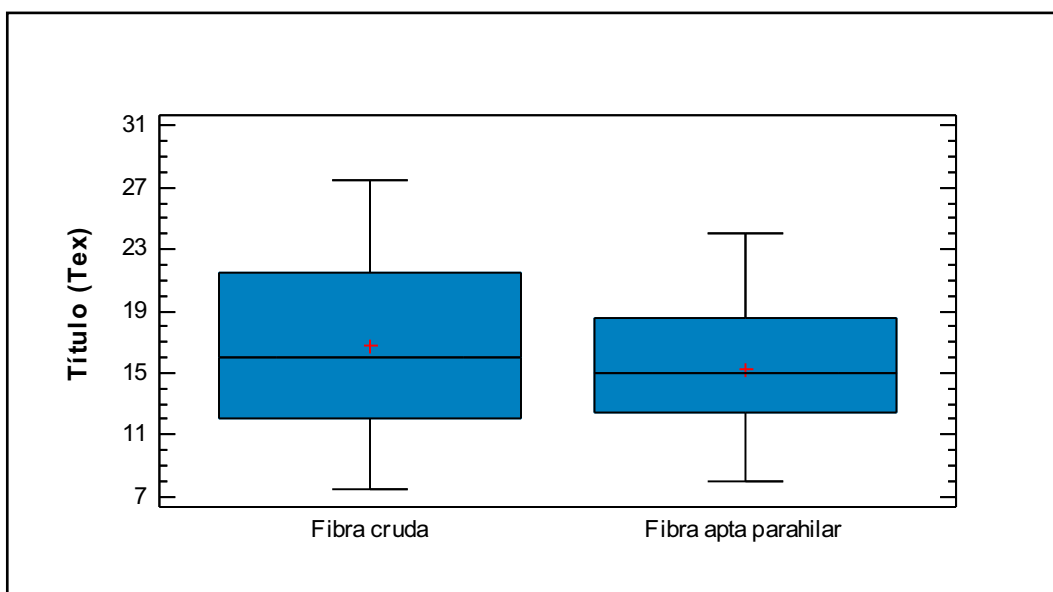
Con la finalidad de evaluar la posible afectación que pudieron ocasionar los reactivos utilizados en los diferentes procesos de descrude, blanqueo y suavizado

en la fibra que será empleada en el hilado (fibra apta para hilar), se procedió a determinar el título y la tenacidad, tanto de la fibra cruda como de la fibra resultante, cuyos datos se presentan en el Anexo II y el análisis estadístico se presenta en el Anexo IV.

A continuación en la Tabla 3.16 y en la Figura 3.14 se muestran los resultados alcanzados para el título.

**Tabla 3.16.** Título promedio de las fibras de formio cruda y apta para hilar

Fibra	Título promedio (Tex)	Desviación Estándar (Tex)
Formio cruda	16,80	5,74
Fibra apta para hilar	15,23	4,78



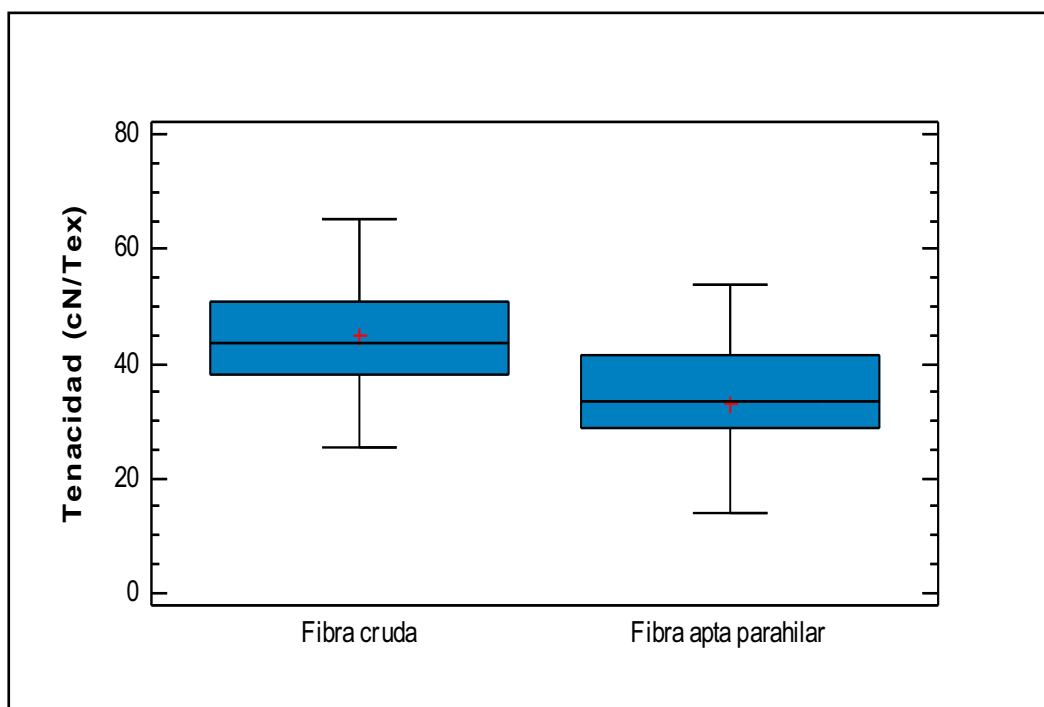
**Figura 3.14.** Diagrama de caja y bigotes del título de las fibras de formio cruda y apta para hilar

El análisis estadístico presentado en el Anexo IV, con un grado de confianza del 95 %, indicó que no existió diferencia estadísticamente significativa entre el título de la fibra cruda con la que fue apta para hilar, lo que indicó que los procesos que se realizaron sobre la fibra cruda (sin ningún tratamiento) para hacerla apta para el hilado no influenciaron sobre esta propiedad.

Adicional a la determinación del título también se evaluó la tenacidad, cuyos resultados se muestran en la Tabla 3.17 y en la Figura 3.15.

**Tabla 3.17.** Tenacidad promedio de las fibras de formio cruda y apta para hilar

Fibra	Tenacidad promedio (cN/Tex)	Desviación Estándar (cN/Tex)
Formio cruda	44,80	8,74
Fibra apta para hilar	32,89	10,57



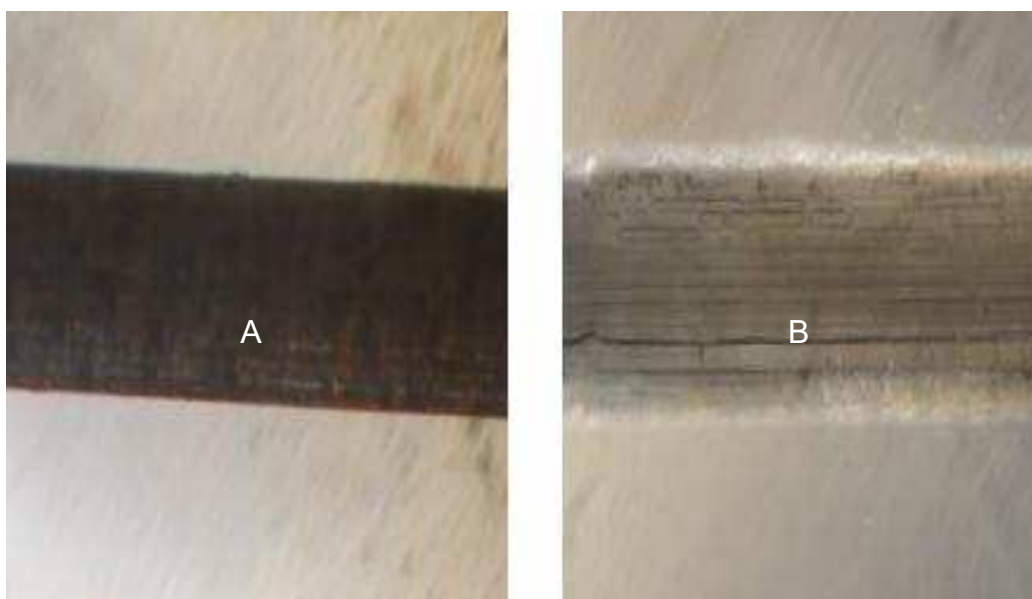
**Figura 3.15.** Diagrama de caja y bigotes de la tenacidad de las fibras de formio cruda y apta para hilar

Al realizar el análisis estadístico mostrado en el Anexo IV, se determinó que existió una diferencia estadísticamente significativa entre la tenacidad de la fibra cruda con la de la fibra apta para hilar, lo que mostró que si bien el descruce removi6 las grasas y ceras de la fibra, el blanqueo elimin6 los componentes crom6foros de la fibra y, el suavizado permiti6 dar flexibilidad y suavidad a la fibra, estos procesos en conjunto contribuyeron a disminuir en aproximadamente 26,60 % su tenacidad, cuyo resultado era esperado ya que el prop6sito del suavizado fue el de disminuir la rigidez de la fibra y volverla flexible para hacerla



apta para el hilado. Sin embargo, la fibra final se mantuvo íntegra y soportó el proceso de hilatura.

Además se realizó un análisis al microscopio sobre la sección longitudinal de la fibra cruda y de la apta para hilar con la finalidad de observar el efecto que ocasionaron los anteriores procesos sobre su estructura. En la Figura 3.16 se muestran fotografías de las fibras cruda y la que fue utilizada en el hilo de formio.



**Figura 3.16.** Fibras de formio (A) fibra cruda (100X), (B) fibra apta para hilar (100X)

En la Figura 3.16 se observa que los tratamientos realizados sobre la fibra cruda para transformarla en una fibra apta para hilar provocaron la disminución en la pigmentación y un cambio superficial en la fibra.

### **3.3 HILADO ARTESANAL Y CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DEL HILO OBTENIDO Y EVALUACIÓN DE SU CAPACIDAD DE TISAJE**

El auge de las industrias de fabricación de hilos, han hecho que el hilado artesanal vaya disminuyendo y con ello una fuente de trabajo que generalmente es pasada de generación en generación, sobre todo en ciertas comunidades

indígenas, sin tomar en cuenta que este tipo de tejidos y sobre todo las fibras con las que están hechos, son muy apreciados por los turistas, particularmente extranjeros, quienes valoran este trabajo por la belleza de los productos obtenidos y porque no contaminan el medio ambiente, debido a que esta labor generalmente es realizada en ruecas o usos de mano.

Por lo general en las comunidades indígenas se hilan las fibras provenientes de animales como ovejas, alpacas y cabras, cuyas fibras son cortas, y de vegetales como cabuya o abacá cuyas fibras son más largas. Por esta razón se procedió a obtener un hilo con fibras cortas y otro con fibras largas en los cuales se mantuvo la longitud original de las fibras, con la finalidad de determinar la forma más fácil de hilar y obtener un hilo uniforme y de buenas características.

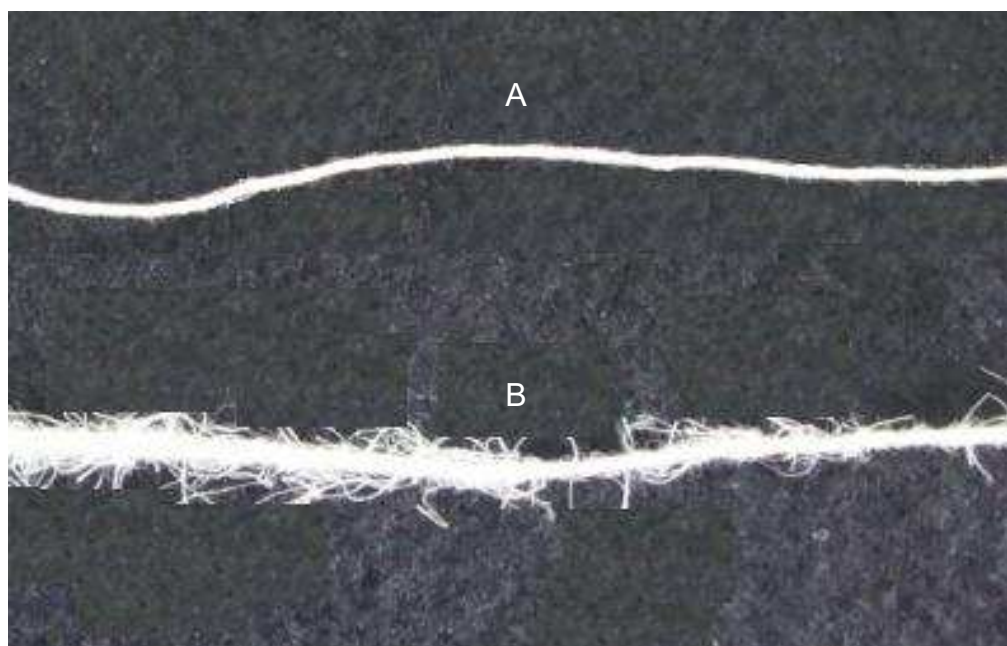
Como se explicó en la parte experimental se obtuvo un velo con fibras de formio cortadas en segmentos de 6 cm, sin embargo, el velo obtenido se deshacía si no se lo manipulaba con cuidado, además el trabajo de hilatura en la rueca eléctrica fue un tanto complicado dado que la fibra al no presentar rizos naturales como en el caso de la lana, ocasionó que las fibras para esta longitud no estuvieran lo suficientemente unidas entre sí en el velo y al momento de formar la mecha para el hilado se rompían si no se tenía el suficiente cuidado, y el volver a unir las ocasionó que ciertas zonas fueran más delgadas que otras porque había que unir las rápidamente mientras la rueca giraba, debido a esto, el hilo obtenido no tuvo un diámetro uniforme, porque si bien el grosor del hilo dependió de la habilidad de hilar, la dificultad de alimentación de la mecha del velo formado hacia la rueca contribuyó también a que existieran partes del hilo con zonas más gruesas que otras, además la presencia de fibras cortas no favorecieron su apariencia, porque estas se salieron a modo de fibrillas del cuerpo principal del hilo, lo cual formó gran cantidad de pilosidades.

Debido a que el hilo obtenido a partir de fibra corta no fue el esperado, se optó por hilar de forma similar como se hila la cabuya, que consistió en alimentar hacia la rueca eléctrica la fibra de formio con su longitud original, sin formar el velo en la cardadora.

Los resultados alcanzados fueron mucho mejores que el hilo elaborado a partir de la mecha de fibras, lo que indicó que esta fibra no fue apta para ser hilada en pequeños segmentos, como sucede con las fibras que presentan convoluciones naturales como el algodón, rizos como la lana o sean mezcladas con estas fibras para facilitar el proceso de hilatura.

La forma de elaboración del hilo de formio mediante el uso de la rueca fue similar al hilado de cabuya, puesto que fueron elaborados en la misma rueca y por la misma persona, por tanto, se utilizó este hilo de cabuya como patrón de comparación de las propiedades mecánicas del hilo formado por fibras de formio.

El proceso de hilatura se facilitó al momento de hilar la fibra larga y los resultados son mucho mejores que el hilo obtenido a partir de fibra corta, debido a que se aprecia un menor grosor y contenido de pilosidades, tal como se muestra en la Figura 3.17.



**Figura 3.17.** Hilo de formio (A) elaborado con fibra larga, (B) elaborado con fibra corta

La finura del hilo dependió de la habilidad de tomar con los dedos, mayor o menor cantidad de fibras que van a ser torsionadas en la rueca. La torsión dada al hilo

estuvo en función de la habilidad de evitar que la fibra se enrosque debido al excesivo torsionado.

Si la torsión es muy baja, las fibras que conforman el hilo tenderán a deslizarse unas sobre otras, pero si es muy alta, las fibras quedarán muy unidas lo cual ocasionará enroscamientos, esto contribuiría a que el hilo sea rígido y difícil de tejer, lo que disminuirá sus propiedades mecánicas de resistencia por el efecto cortante entre las fibras que se disponen en ángulos rectos al eje del hilo según Hollen (2002, p. 158).

El hilo obtenido a partir de la fibra de formio no fue rígido, fue más bien un hilo flexible, el cual no presentó ningún problema al formar un tejido en el telar manual. En la Figura 3.18 se muestra el hilo elaborado con fibra larga.



**Figura 3.18.** Hilo de formio elaborado con fibra larga

El hilo de formio presentó una dirección de torsión S de 97 torsiones por metro (tpm) tanto por el método directo como por el método de destorsión-retorsión. Debido a que la elaboración de este hilo fue artesanal, se obtuvo un hilo irregular en cuanto al diámetro, el cual dependió de la habilidad de alimentar la fibra a la rueca, de la cantidad y diámetro de fibras alimentadas (al ser el formio una fibra natural esta no tiene un diámetro uniforme a lo largo de toda su longitud) y de la torsión, la cual no fue uniforme a lo largo del hilo, en donde una mayor torsión dio

origen a zonas más delgadas, sin embargo, esta irregularidad no fue excesiva y por ende este hilo de formio puede ser utilizado en tejidos artesanales.

Con la finalidad de evaluar las propiedades mecánicas del hilo de formio obtenido frente a otros hilos elaborados de manera artesanal se procedió a determinar su título, resistencia a la tracción y elongación y compararlas con el hilo de cabuya, el cual es fácilmente obtenido en el mercado interno.

### **3.3.1 CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DEL HILO ARTESANAL DE FORMIO**

#### **3.3.1.1 Determinación del título**

En el diagrama de caja y bigotes de la Figura 3.19 se observa que para el título del hilo de formio y el de cabuya existe una gran y menor dispersión respectivamente, de los valores del título respecto a la media de cada conjunto de datos, estas diferencias en la dispersión se deben a que al ser artesanal la elaboración del hilo de formio su diámetro no fue uniforme en toda su longitud por los motivos mencionados anteriormente y existieron muchas zonas delgadas, puesto que hubieron partes del hilo con mayor torsión que otras en donde a mayor torsión menor título, además los tratamientos químicos realizados en las fibras que conformaron el hilo de formio junto con la irregularidad del diámetro de estas fibras hicieron que la dispersión aumentara.

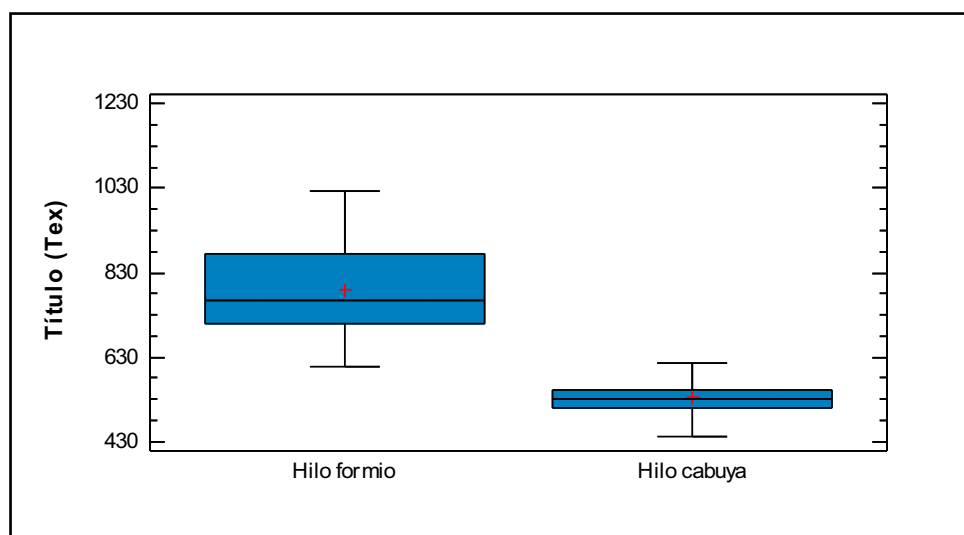
En el análisis estadístico presentado en el Anexo VI con un nivel de confianza del 95 %, se observó que existió una diferencia estadísticamente significativa entre el título del hilo de formio y el de cabuya, lo que indicó que ambos títulos son diferentes, siendo el hilo de cabuya el que tuvo menor título que el hilo de formio, debido a que sus fibras fueron más largas de 2,0 m a 2,5 m con respecto a las fibras de formio utilizadas en esta investigación cuya longitud fue de 0,5 a 1,0 m, lo que dificultó un poco la alimentación continua a la rueca y por ende se obtuvo un hilo más grueso, a pesar de que ambos hilos fueron elaborados en la misma rueca y con la misma persona, sin embargo, el hilo de formio fue apto para ser

tejido dado que su grosor no fue ningún impedimento al momento de formar el tejido.

En la Tabla 3.18 y en la Figura 3.19 se muestran los resultados de título obtenidos para cada hilo.

**Tabla 3.18.** Título promedio de los hilos de formio y cabuya

Hilo	Título promedio (Tex)	Desviación Estándar (Tex)
Formio	790,44	118,54
Cabuya	532,85	50,72



**Figura 3.19.** Diagrama de caja y bigotes del título de los hilos de formio y cabuya

### 3.3.1.2 Determinación de la tenacidad

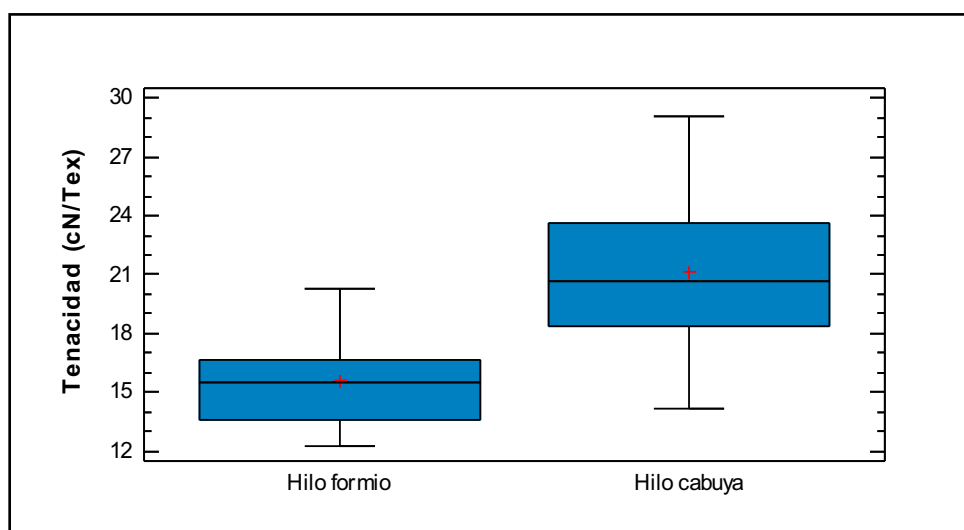
En el diagrama de caja y bigotes de la Figura 3.20 se aprecia que existe dispersión de los valores de tenacidad, tanto del hilo de formio respecto a la media del conjunto de datos, como del de cabuya, esto se debe a que la tenacidad se calcula con base en la fuerza a la tensión y al título de cada hilo, en el cual existió una dispersión mayor en el hilo de formio que en el de cabuya, porque al tratarse de un hilo elaborado artesanalmente, su diámetro no fue constante y por ende existieron zonas con menor torsión o conformadas con

menor cantidad de fibras que otras o con ambos defectos a la vez, lo cual hizo que estas zonas resistieran menos a la tensión.

Luego de realizar el análisis estadístico mostrado en el Anexo VI, se determinó que existió una diferencia estadísticamente significativa entre las tenacidades del hilo de formio y del hilo de cabuya porque el material con el que fueron elaborados estos hilos provienen de diferentes fibras, aquí se observó que la tenacidad del hilo de cabuya fue mayor que la del formio y por tanto, su resistencia a la tracción fue mayor, la diferencia puede deberse también a que las fibras que conforman el hilo de cabuya no fueron tratadas de la misma manera que las del formio, en las cuales se disminuyó su rigidez con el objeto de volverlas flexibles. Sin embargo, el hilo de formio es apto para realizar artesanías debido a que es un hilo fácilmente tejible el cual presentó un tacto más suave que el hilo de cabuya. En la Tabla 3.19 y en la Figura 3.20 se muestran los resultados de tenacidad obtenidos.

**Tabla 3.19.** Tenacidad promedio de los hilos de formio y cabuya

Hilo	Tenacidad promedio (cN/Tex)	Desviación Estándar (cN/Tex)
Formio	15,57	2,19
Cabuya	21,12	3,63



**Figura 3.20.** Diagrama de caja y bigotes de la tenacidad de los hilos de formio y cabuya

### 3.3.1.3 Determinación de la elongación a la ruptura

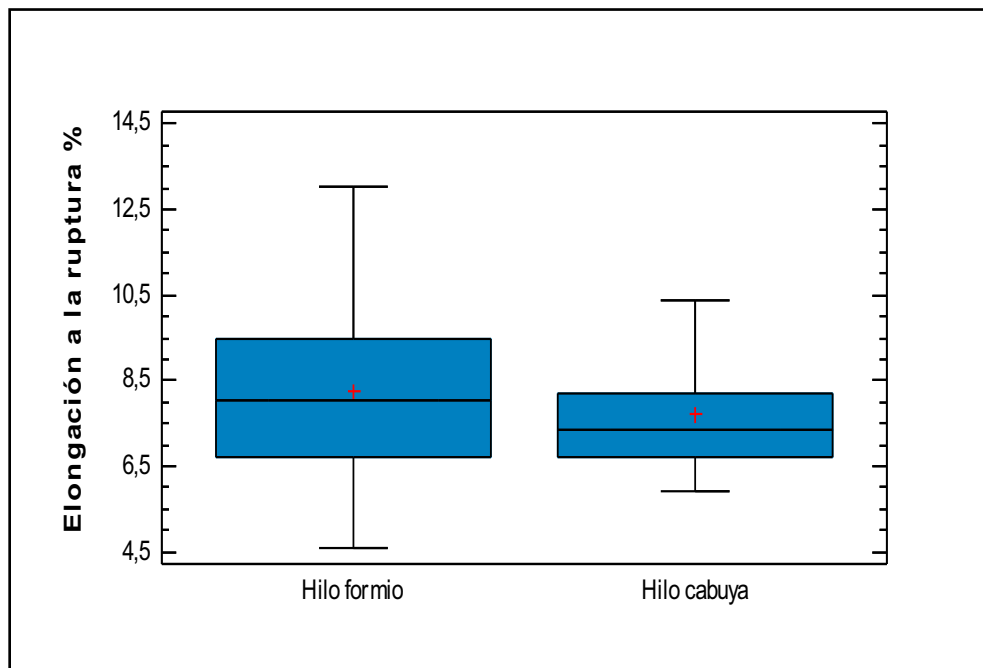
En el diagrama de caja y bigotes de la elongación a la ruptura mostrado en la Figura 3.21 se observa que la dispersión del hilo de formio respecto a la media del conjunto de datos es mayor que el de cabuya, esto se debería a que el proceso de suavizado enzimático realizado sobre las fibras que conforman el hilo de formio produjo disminución de la longitud de la cadena de celulosa, puesto que si este proceso no es uniforme en toda la fibra debido a que la fibra presenta zonas más delgadas que otras, la disminución de la cadena tampoco lo es, esta disminución del tamaño de la cadena de celulosa produjo disminución de la resistencia a la tracción (tenacidad) y aumento de la elongación a la ruptura, lo mencionado anteriormente contribuyó a que existiera una mayor dispersión del hilo de formio que el de cabuya cuyas fibras no fueron sometidas a ningún tratamiento químico.

De acuerdo al análisis estadístico mostrado en el Anexo VI se observó que no existió una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las elongaciones de los hilos de formio y cabuya y por tanto, se puede utilizar cualquiera de estos dos hilos en aplicaciones en las que el porcentaje de elongación no sea alto. Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 3.20 y en la Figura 3.21.

**Tabla 3.20.** Elongación promedio a la ruptura de los hilos de formio y cabuya

Hilo	Elongación promedio a la ruptura (%)	Desviación Estándar (%)
Formio	8,28	2,03
Cabuya	7,72	1,29





**Figura 3.21.** Diagrama de caja y bigotes de la elongación a la ruptura de los hilos de formio y cabuya

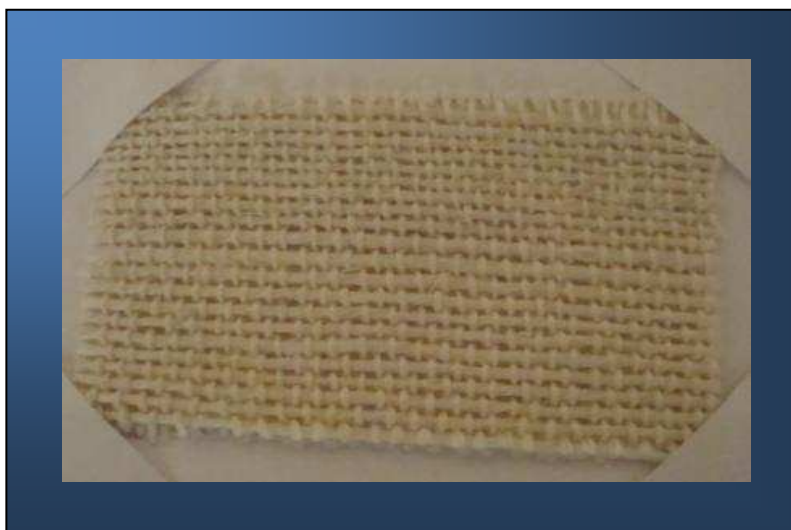
### 3.3.2 EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE TISAJE DEL HILO OBTENIDO

Si bien el hilado de la fibra de formio fue un tanto dificultoso, el hilo obtenido fue continuo y pudo ser tejido artesanalmente de la misma forma en que es tejido el hilo de cabuya, esta ventaja facilitó la elaboración de un tejido con este hilo, el cual presentó un tacto más suave que el hilo de cabuya lo que hace que el tejido elaborado con hilo de formio sea más atractivo, además el proceso de blanqueo al que fueron sometidas sus fibras hizo que se obtuviera un hilo más blanco que el de cabuya.

El tisaje realizado con el hilo de formio no fue dificultoso y se obtuvo un tejido consistente y uniforme, es decir no hubieron zonas de tejido más estrechas o más sueltas comparadas con otras zonas del tejido, aquí fue importante dar el ajuste suficiente con la peineta al hilo de trama y regular la tensión de la urdimbre, de tal manera que esté lo suficientemente tensionada, al usar para ello el cilindro arrollador y el enjullo trasero. Tampoco se formaron nudos durante el tisaje, los cuales ocasionan una apariencia irregular en el producto acabado, ya que tienen

forma de hebra gruesa enrollada, debido a la tensión desigual dada al hilo durante el tisaje o porque el hilo en alguna zona presentó demasiada torsión, que además pueden causar aperturas grandes o pequeñas en la malla del tejido, además los bordes del tejido no estuvieron ensanchados, encogidos o deformados, porque al momento de pasar la lanzadera se tensionó lo suficiente al hilo de trama para evitar que se originen estos defectos en los bordes.

A continuación, en la Figura 3.22 se observa el tejido de ligamento tafetán plano 1-1 formado por urdimbre de algodón 100 % y trama de hilo de formio, que pese a que son dos hilos de propiedades diferentes fue posible realizar su entrecruzamiento en el tejido en un telar. La razón por la que no se utilizó el hilo de formio en la urdimbre fue porque los orificios de los lizos contenidos en los marcos no tenían el diámetro suficiente para permitir que el hilo de formio cruzara a través de ellos, cuyo diámetro fue mayor.



**Figura 3.22.** Tejido de ligamento tafetán plano 1-1 formado por urdimbre de algodón y trama de hilo de formio

En la Figura 3.22 se aprecia el tejido de ligamento tafetán plano 1-1 realizado con hilo de formio de 6 hilos/cm en la trama y 7 hilos/cm en la urdimbre de algodón, el cual fue uniforme sin la presencia de nudos en la malla y por ende puede ser usado en artesanías.

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1 CONCLUSIONES

- El descruce de fibra de formio debe ser realizado a temperatura de ebullición porque a esta temperatura el hidróxido de sodio saponificaría las grasas y ceras de la fibra.
- Fue necesario el uso de detergente y humectante en el descruce de fibra de formio porque se obtuvieron fibras más claras, limpias y homogéneas.
- Los mejores resultados de descruce se consiguieron bajo las siguientes condiciones: 2 g/L de hidróxido de sodio, 1 g/L de humectante, 1 g/L de detergente y razón licor de 1:25 en un tiempo de 30 min a temperatura de ebullición.
- Fue posible realizar el blanqueo de formio con hipoclorito de sodio a temperatura ambiente, que en el caso del presente trabajo fue de 15 °C.
- Tiempos de blanqueo con hipoclorito de sodio superiores a 60 min resultaron inútiles, dado que no se mejoró el grado de blanco alcanzado.
- El blanqueo con peróxido de hidrógeno permitió la obtención de fibras de blancura superior que las obtenidas con el proceso con hipoclorito de sodio.
- Las condiciones de blanqueo con peróxido de hidrógeno bajo las cuales se obtuvieron los mejores resultados fueron: 3mL/L de peróxido de hidrógeno al 50 %, 0,75 g/L de humectante, 0,5 g/L de estabilizador con una relación 1:25 entre el peso de la fibra y el volumen de la solución, a temperatura de ebullición a un tiempo de 30 min.

- Tiempos de blanqueo con peróxido de hidrógeno mayores a 60 min, dieron como resultado una disminución en el tono de blanco de las fibras con respecto a la blanqueada a las condiciones adecuadas.
- El proceso de suavizado disminuyó la rigidez de las fibras descrudadas y blanqueadas otorgándoles suavidad, flexibilidad y facilidad de cohesión.
- El suavizado con sulfito de sodio-hidróxido de sodio permitió obtener buenos resultados en cuanto a flexibilidad y facilidad de cohesión, sin embargo, las fibras presentaron gran cantidad de fibrillas adheridas a la fibra principal (pilosidades), las cuales mejoraron la cohesión en la formación del hilo pero deterioraron su apariencia.
- El suavizado con celulasa ácida produjo los mejores resultados en cuanto a flexibilidad y suavidad, además, se obtuvo una fibra con menor cantidad de pilosidades que la tratada con sulfito de sodio-hidróxido de sodio, además presentó una buena cohesión en la formación del hilo. Las condiciones que permitieron obtener los mejores resultados fueron: 6 % de celulasa ácida, pH entre 4,5 y 5,5, tiempo 1 h, razón licor 1:25 y, temperatura de 55 °C. Para la inactivación de la enzima se empleó temperatura de 80 °C, razón licor de 1:50 y tiempo de 10 min, y se utilizó un suavizante al 3 %, razón licor 1:25, durante 30 min a 40 °C.
- La fibra de formio apta para hilar no presentó diferencia estadísticamente significativa en el título con respecto a la fibra de formio sin ningún tratamiento, sin embargo, la fibra que ha sido descrudada, blanqueada y suavizada bajo las condiciones más adecuadas, disminuyó su tenacidad respecto de la fibra sin ningún tratamiento en un 26,60 %.
- La fibra larga de formio fue más fácil de hilar y el hilo resultante fue menos grueso y con menos pilosidades que el realizado con fibra corta.

- El hilo de formio obtenido presentó las siguientes características: torsión S, 97 tpm, título 790,44 Tex, tenacidad 15,57 cN/Tex y elongación a la ruptura 8,28 %.
- El hilo de formio, al ser utilizado en la trama, permitió la elaboración de un tejido artesanal.
- El hilo de formio puede ser utilizado para tejidos de tonos crudos u oscuros.

## **4.2 RECOMENDACIONES**

- Estudiar la elaboración de no tejidos con la fibra de desecho obtenida del peinado en la escarmenadora luego del suavizado, con el fin de emplearlos en artesanías, de manera similar en que es empleada la cabuya en algunas comunidades.
- Desarrollar una investigación en la cual se pueda utilizar las bases de las hojas que fueron desechadas puesto que contienen gran cantidad de fibras, mismas que al tener un diámetro mayor que las fibras obtenidas de las hojas, pueden ser empleadas como rellenos o en materiales compuestos.
- Hilar industrialmente al formio para obtener un diámetro más uniforme y mayor finura del hilo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Beltramone, G., Di Sanzo, P., Ferreyra, E. y Mondaca, M. (2012). *Industrias y servicios, industria textil*. Recuperado de <http://es.scribd.com/doc/53978254/3/Sector-primario-Industria-textil#page=3> (Febrero, 2012).
2. Bonilla, O. (2005). *Procesamiento de la fibra de abacá para la elaboración de tejidos y no tejidos*. Recuperado de [http://biblioteca.espe.edu.ec/upload/Memorias\\_Tecnicas.pdf](http://biblioteca.espe.edu.ec/upload/Memorias_Tecnicas.pdf) (Enero, 2011).
3. Brahic, M. (1998). *El telar* (2da. ed.). Barcelona, España: Parramón S.A.
4. Brescia, R. (1969). *Almanaque del banco de seguros del estado: Formio No solo ornamental* [Versión Digital]. Recuperado de <http://www.bse.com.uy/almanaque/Almanaque%201995/pdf/0%20-%20054.pdf> (Enero, 2011).
5. CAIDB (Consejo Argentino para la Información y el Desarrollo de la Biotecnología). (2007). *Las enzimas, biotecnología aplicada a la industria textil, celulosas y celulasas*. Recuperado de <http://www.porquebiotecnologia.com.ar/index.php?action=cuaderno&opt=5&pag=2> (Marzo, 2011).
6. Casey, J. (1990). *Pulpa y Papel: Química y Tecnología Química*. Vol 1. México D.F., México: Limusa.
7. Casey, J. (1991). *Pulpa y Papel: Química y Tecnología Química*. Vol 2. México D.F., México: Limusa.
8. Coarma, T. (2008). *Fibras textiles*. Recuperado de <http://sobrefibras.textiles-fibras.com/> (Diciembre, 2011).
9. Consultorio de jardinería. (2001). *Phormium: Formio, Lino de Nueva Zelanda*. Recuperado de <http://www.consultaplantas.com/fichas-de-plantas-de-la->

m-a-la-r/302-cuida-dos-de-la-planta-phormium-formio-lino-de-nueva-zelanda.html (Agosto, 2011).

10. Del Río, J. y Gutiérrez, A. (2009). *Valorización de productos agroforestales para la fabricación de pasta de papel: Caracterización química y modificación estructural de sus constituyentes en los procesos de cocción y blanqueo*. Recuperado de <http://www.irnase.csic.es/users/delrio/web-Proy-AGL2005-01748/Proyecto.htm> (Marzo, 2011).
11. De Perinat, M. (2007). *Las fibras textiles y las telas*. Recuperado de <http://www.edym.com/CD-tex/2p/matprim/cap03/cap03.htm> (Enero, 2011).
12. Ecured. (2012). *Tipos de fibra*. Recuperado de <http://www.ecured.cu/index.php/Fibra> (Febrero, 2012).
13. Escobar, C. (1996). *Blanqueo, Tintorería, Acabados y Estampación Textil* (1era. ed.). Cartago, Costa Rica: Tecnológico de Cartago.
14. Espluga, L. (2008). *Agramadora*. Recuperado de [http://museusenlinia.gencat.cat/eMP/eMuseumPlus?service=direct/1/ResultLightboxView/result.t1.collection\\_lightbox.\\$TspTitleImageLink.link&sp=10&sp=Scollection&sp=SfieldValue&sp=0&sp=1&sp=3&sp=Slightbox\\_3x4&sp=0&sp=Sdetail&sp=0&sp=F&sp=T&sp=2](http://museusenlinia.gencat.cat/eMP/eMuseumPlus?service=direct/1/ResultLightboxView/result.t1.collection_lightbox.$TspTitleImageLink.link&sp=10&sp=Scollection&sp=SfieldValue&sp=0&sp=1&sp=3&sp=Slightbox_3x4&sp=0&sp=Sdetail&sp=0&sp=F&sp=T&sp=2) (Marzo, 2012).
15. FAO. (2009). *Año internacional de las fibras naturales*. Recuperado de <http://www.naturafibers2009.org> (Octubre, 2011).
16. Flor, M. (2008). *Modificación Química de la fibra de abacá (Musa textilis Nee), variedad bungalanón para la elaboración de hilo textil*. (Proyecto de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Agroindustrial no publicado). Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.

17. García, C. (2001). *Propiedades mecánicas de los materiales*. Recuperado de <http://www.unalmed.edu.co/~cpgarcia/mecanicas.PDF> (Octubre, 2011).
18. García, J. (1993). *Constituyentes fibrosos de pastas y papeles: morfología, análisis microscópico*. Barcelona, España: Terrassa.
19. Giardinaggio, D. (2004). *New Zealand flax Phormium tenax Purpureum*. Recuperado de <http://es.gardening.eu/plantas/Arbustos/Phormium-tenax/1349/> (Julio, 2011).
20. González, J. (2011). *Polisacáridos derivados*. Recuperado de <http://www.ehu.es/biomoleculas/hc/sugar35.htm> (Noviembre, 2011).
21. Guerra, S. (2011). *Optimización de un método químico para la extracción de la fibra de formio (Phormium tenax)*. (Proyecto de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Químico no publicado). Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.
22. Guerrón, A. (2005). *Caracterización y modificación alcalina de la fibra de abacá variedad bungalanón para la elaboración de hilo artesanal*. (Proyecto de titulación previo a la obtención del título de Ingeniera Química no publicado). Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.
23. Gürtler, M. y Kind, W. (1947). *La industria textil* (3era. ed.). Barcelona, España: Labor S.A.
24. Hollen, N. (2002). *Introducción a los textiles* (5ta. ed.). México D.F., México: Limusa.
25. Jinsona, A. (2008). *Tejido plano-tejido de punto*. Recuperado de <http://mamlamoda.com/2008/07/tejido-plano-tejido-de-punto.html> (Enero, 2011).



26. Joomla, E. (2011). *Los detergentes, guía de Tintorerías y Lavanderías*. Recuperado de <http://guia.tintorerias.com/los-detergentes.html>, (Marzo, 2011).
27. Lenntech, B. (2010). *Papel y celulosa*. Recuperado de <http://www.lenntech.es/papel-celulosa.htm> (Agosto, 2011).
28. Lis, M. (2002). *Comportamiento cinético de fibras Tencell con colorantes directos*. (Disertación Doctoral). Recuperada de la base de datos Tesis Doctorales en Red. (ISBN 846887907).
29. Luna, M. (2009). *Productos auxiliares*. Recuperado de [www.sallo1.unlugar.com/productos auxiliares\\_textil.ppt](http://www.sallo1.unlugar.com/productos_auxiliares_textil.ppt) (Enero, 2011).
30. Marsh, J. (1957). *An introduction to textile finishing*. Londres, Inglaterra: Chapman & Hall LTD.
31. Marsh, J. (1958). *Textile science an introductory manual*. Londres, Inglaterra: Chapman & Hall LTD.
32. MIPRO y BM. Ministerio de Comercio Exterior, Industrialización, Pesca y Competitividad y Banco Mundial. (2000). *Estudio de competitividad del sector textiles y confecciones*. Quito, Ecuador: Banco Mundial.
33. Montilla, P. (2007). *La estructura de la célula*. Recuperado de [http://www.euroschool.lu/prof.montilla/ficherotemas/biologia7/La\\_estructura\\_de\\_la\\_celula.pdf](http://www.euroschool.lu/prof.montilla/ficherotemas/biologia7/La_estructura_de_la_celula.pdf) (Junio, 2011).
34. Morales, N. (1993). *Guía textil en el acabado*. Medellín, Colombia: Universitaria UTN.
35. Morán, J. (2008). *Extracción de celulosa y obtención de nanocelulosa a partir de fibra sisa-caracterización*. Ponencia presentada en Segundo Encuentro

de Jóvenes Investigadores “Ciencia y Tecnología de Materiales”, Mar del Plata, Argentina. Recuperado de [http://www.materiales-sam.org.ar/sitio/biblioteca/jovenesSAM08/Trabajos\\_completos/14.Materiales%20Nanoestructurados/14067MoranJ.pdf](http://www.materiales-sam.org.ar/sitio/biblioteca/jovenesSAM08/Trabajos_completos/14.Materiales%20Nanoestructurados/14067MoranJ.pdf) (Febrero, 2011).

36. Netto, R. (2007). *Física-Resistencia*. Recuperado de [http://www.fisicanet.com.ar/fisica/elasticidad/ap01\\_elasticidad.php](http://www.fisicanet.com.ar/fisica/elasticidad/ap01_elasticidad.php) (Diciembre, 2011).
37. Núñez, C. (2004). *Fundamentos y principios del pulpado químico: Programa de investigación de celulosa y papel*. Buenos Aires, Argentina: Universidad Nacional de Misiones.
38. Ott, E., Spurlin, H. y Grafflin, M. (1963). *High polymers: Cellulose and cellulose derivatives* (2da. ed.). Nueva York, Estados Unidos: Interscience Publishers Inc.
39. Ovando, S. y Waliszewski, K. (2005). Preparativos de celulosas comerciales y aplicaciones en procesos extractivos. *Universidad y Ciencia*, 21 (42), 113-122. Recuperado de <http://redalyc.uaemex.mx/pdf/154/15404206.pdf> (Julio, 2011).
40. Pereira, M., Patt, R. y Kordsachia, O. (2011). Efecto de la carga de sulfito de sodio en el pulpaje NSSC de *E. globulus*. *Maderas, Ciencia y Tecnología*, 13 (2), 225-234. doi: 10.4067/S0718-221X2011000200010.
41. Princeton U. (2010). *Pulp Bleaching Technology*. Recuperado de <http://www.princeton.edu/~ota/disk1/1989/8931/893106.PDF> (Marzo, 2012).
42. Ramírez, D. (2010). *Formulación y evaluación de proyectos*. Recuperado de <http://daniek-comandos.formulacion/evaluacion.com/> (Septiembre, 2011).

43. Red Textil Argentina. (2010). *Numeración y título de hilos e hilados*. Recuperado de [http://www.redtextilargentina.com.ar/index.php?option=com\\_content &view=article&id=174&Itemid=1](http://www.redtextilargentina.com.ar/index.php?option=com_content&view=article&id=174&Itemid=1) (Julio, 2011).
44. Repamar. (2000). *Impacto ambiental de productos químicos auxiliares usados en la industria textil Argentina*. Recuperado de <http://www.bvsde.paho.org/eswww/repamar/gtzproye/impacto/anexo4.html> (Septiembre, 2011).
45. Rivera, D. (2005). *Conocimiento de las fibras textiles*. Recuperado de [http://www.ingenieria.buap.mx/DOCUMENTOS/REVISTA/Rev\\_8/1\\_Conocimiento\\_fibras\\_textiles.pdf](http://www.ingenieria.buap.mx/DOCUMENTOS/REVISTA/Rev_8/1_Conocimiento_fibras_textiles.pdf) (Enero, 2011).
46. Rojas, M. (1993). *Fisiología vegetal aplicada* (4ta. ed.). México D.F., México: Interamericana Mc Graw-Hill.
47. Rouette, H. (2001). *Encyclopedia of Textile Finishing*. Nueva York, Estados Unidos: Springer.
48. Roy, A. (2006). *Textile preparation and dyeing*. Enfield, Estados Unidos: Science Publisher.
49. Sánchez, M. (2007). *Estudio histórico sobre el arte textil en la vera (Cáceres)*. Recuperado de [http://www.chde.org/index.php?option=com\\_content &view=article&id=692:estudio-historico-sobre-el-arte-textil-en-la-vera-caceres&catid=43:1993&Itemid=60](http://www.chde.org/index.php?option=com_content&view=article&id=692:estudio-historico-sobre-el-arte-textil-en-la-vera-caceres&catid=43:1993&Itemid=60) (Octubre, 2011).
50. Santander, H. (2000). *Transferencia Tecnológica en los Procesos de Hilado y Tinturado de Lana Virgen con Tintes Naturales*. Recuperado de <http://www.fao.org/forestry/19634-0882d6244053f1fa4fb9f6d10d21d485e.pdf>, (Diciembre, 2011).
51. Santizo, R. (1996). *Importancia del descruce del hilo de algodón en el proceso de tintura artesanal*. (Proyecto de titulación previo a la obtención del título

de Ingeniera Química). Recuperado de la base de datos Equimica Ingeniería-usac (UTG 11178).

52. Sarex, N. (2010). *Manual de preparación del algodón*. Recuperado de <http://api.ning.com/files/jHG431Xh90RkTYGdr7IJOOrNfErM7laeuivr3U6nhyeKzuiDlevTPBskAHQUyWkNzcNabjtCRG2dScnV4kVNZgKH2xHI0dgtJ/MANUALDEPREPARAOSAREX.COM> (Enero, 2011).
53. Serrablo, A. (1997). *El cáñamo*. Recuperado de <http://www.serrablo.org/revista/104/el-canamo> (Agosto, 2011).
54. Siminuk, P., Mundhenk, R., Seydel, P., Baird, G., Berry, E., Shinn, W., Townsed, J., Campbell, K., Scott, E., Lindsay, J., Reeves, W., Guthrie, J., Mayne, S., Worner, R. y Stark, S. (1970). *The American Cotton Handbook* (3era. ed.). Vol. 2. Londres, Inglaterra: Textile Book Publishers Inc.
55. Skinkle, J. (1949). *Textile testing* (2da. ed.). Brooklyn, Estados Unidos: Editorial Chemical Publishing CO. Inc.
56. Sullcahuamán, J., Fuentes, C., Ramos, M., Pastor, A., Castro, O. y Zavaleta, J. (2007). *Materiales compuestos de cemento, papel reciclado, quitosano y refuerzo de fibras de sisal químicamente modificadas*. Ponencia presentada en VIII Congreso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica, Lima, Perú. Recuperado de <http://congreso.pucp.edu.pe/cibim8/pdf/15/15-79.pdf> (Febrero, 2011).
57. Sunat, G. (2002). *Hilados textiles*. Recuperado de [http://www.contadoresyempresas.com.pe/boletines\\_revistas/marzo\\_2006/comerext13.pdf](http://www.contadoresyempresas.com.pe/boletines_revistas/marzo_2006/comerext13.pdf) (Noviembre, 2011).
58. Teschke, K. y Demers, P. (1998). *Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo* (4ta. ed.). Madrid, España: Ministerio de trabajo y asuntos sociales subdirección general de publicaciones.

59. Turner, S. (2009). *Historia del papel*. Recuperado de [http://www.artesacentenaria.es/WebRoot/StoreES3/Shops/eb8184/MediaGallery/Tecnicas\\_Restauracion/5-Historia\\_del\\_Papel.pdf](http://www.artesacentenaria.es/WebRoot/StoreES3/Shops/eb8184/MediaGallery/Tecnicas_Restauracion/5-Historia_del_Papel.pdf) (Septiembre, 2011).
60. Ureña, F. (2008). *Digestión, absorción y metabolismo de los carbohidratos en monogástricos y rumiantes*. Recuperado de <http://www.uco.es/zootecniaygestion/menu.php?tema=153> (Septiembre, 2011).
61. Vilatuña, A. (2006). *El textil artesanal-los telares*. Recuperado de <http://www.uv.mx/popularte/esp/scriptphp.php?sid=652> (Agosto, 2011).
62. Wagner, W., Herbst, D. y Sohmer, S. (1990). *Manual of the Flowering Plants of Hawaii* (2da. ed). Honolulu, Hawaii: University of Hawaii Press.
63. Ward, K. (1955). *Chemistry and Chemical Technology of Cotton*. Nueva York, Estados Unidos: Interscience Publishers Inc.
64. Warwick, H. (2000). Extraction, content, strength, and extension of Phormium variety fibres prepared for traditional Maori weaving. *New Zealand Journal of Botany*, 38 (1), 469-471.
65. Wills, H. (2005). *Phormium species*. Recuperado de <http://www.fernwood-nursery.co.uk/phormium/2phspcs.htm> (Enero, 2011).
66. Ysambertt, F., Delgado, N., González, T., Bravo, B., Chávez, G., Márquez, N. e Infante, M. (2009). Reacciones de esterificación-sulfonación asistidas por microondas de ligninas kraft: Influencia de los cambios estructurales sobre la tensión superficial. *Scientific Journal from the Experimental Faculty of Sciences, at the Universidad del Zulia*, 17 (3), 255-265.
67. Zamora, A. (2011). *Carbohidratos o Glúcidos - Estructura Química*. Recuperado de <http://www.scientificpsychic.com/fitness/carbohidratos2.html> (Agosto, 2011).

## **ANEXOS**

## **ANEXO I**

### **FICHAS TÉCNICAS AUXILIARES TEXTILES**

#### **I.1 HUMECTANTE INVADINE D.A**

Según lo descrito por la casa comercial Ciba este producto es un agente humectante y detergente para el tratamiento de procesos de inmersión discontinuos y continuos. Posee buena detergencia y emulsificación con excelentes resultados en la eliminación de las impurezas aceitosas/grasas y partículas de suelo, posee buena hidrofiliidad con los tejidos.

La propiedad de buena humectación garantiza suavidad y elimina los problemas de carga de los productos. Además, tiene buena resistencia a los agentes blanqueantes oxidantes y reductores así como a los álcalis y ácidos. Posee alta estabilidad al producto y al baño de licor aplicados. Su formulación es líquida, bombeable, miscible con agua de fácil manejo y es adecuado para equipos automáticos de dosificación.

La dosificación a usar es de 0,5 mL/L a 2 mL/L en una razón licor de 4:1 a 20:1 y un tiempo de reacción de 20 min a 30 min, en una temperatura entre 20 °C y 95 °C.

#### **I.2 DETERGENTE BIODEGRADABLE**

Este producto según lo descrito por la casa comercial T. Carrión es un tensoactivo anfotérico, que contiene óxido de alquil dimetil amina cuya ionicidad depende del pH del medio donde se utilice. Posee propiedades como detergente, baja formación de espuma, tolerancia frente a hipocloritos. Es compatible con otro tipo de tensoactivos.

Puede utilizarse en detergentes líquidos, en preparaciones suavizantes y antiestáticas para textiles, en pinturas para dispersar pigmentos, como aditivo de petróleo en combustibles especiales, como agente humectante en preparados agroquímicos. Útil para solubilizar fragancias en limpiadores y blanqueadores a base de hipocloritos. Este detergente puede usarse en dosis desde el 1 % hasta el 10% dependiendo de la aplicación. Además no presenta riesgos en su manipulación. Se deben seguir las normas mínimas de seguridad personal aplicadas en cada industria en particular; se recomienda se utilicen elementos de protección para la piel y los ojos.

Almacénese en condiciones higiénicas, en empaque original y cerrado a temperaturas no superiores a 40 °C. Este detergente tiene una vida útil de dos años después de fabricado.

### **I.3 ENZITEX ÁCIDA CONCENTRADA**

Este producto de acuerdo a la casa comercial Dyetex es una nueva enzima concentrada de celulasa ácida líquida que contiene gluconasa y celobiohidrolaza como sus principales componentes, cuya síntesis se realiza mediante el microorganismo trichoderma.

La enzima realiza endohidrólisis de las uniones  $\beta$  1-4 glucosídicas y los  $\beta$  1-4 glucanos de la celulosa, la cual es eficiente en la modificación de materiales confeccionadas con Índigo Denim y posee la propiedad de dar alta abrasión y excelente contraste, lo cual permite conservar el matiz del Índigo original.

Estas características son muy valoradas en las tendencias de moda actual, donde se evita el matiz (baby blue) que dan las enzimas tradicionales. Es un producto ecológico y su aspecto es un líquido marrón oscuro de densidad 1,1 g/L y es miscible en el agua en todas las proporciones.



A pesar de ser una enzima concentrada que se usa en bajas dosificaciones en la mayoría de los lavados, se recomienda al usuario establecer las condiciones óptimas para el efecto deseado porque la efectividad del desengomado y sus respectivos enjuagues, tipo índigo y equipo, son factores críticos que deben tenerse en cuenta en las evaluaciones del producto.

Se recomienda almacenar en un lugar fresco, protegido de los rayos solares y de cualquier fuente de calor radiante o de las heladas. A una temperatura ambiente menor de 25 °C se mantiene su actividad reportada al menos durante 3 meses.

El proceso de abrasión enzimático (stone wash), se denomina también como pulido biológico (biopolish), cuyas condiciones para prendas Índigo Denim son: dosificación de 0,2 % a 0,6 % con respecto al peso; R.L. 1:3 a 1:5; pH 4,5 a 5,5 y temperatura óptima de 55 °C. La desactivación de la enzima se realiza después del proceso con un enjuague alcalino de pH 10 o se incrementa la temperatura con un lavado durante 10 min a 80 °C.

#### **I.4 SUAVIZANTE NO IÓNICO CONC. K**

Este producto de acuerdo a la casa comercial Dyetex es un suavizante no iónico, utilizado para acabados en fibras textiles naturales y sintéticas. Sus características relevantes son: incremento de la lubricación, suavidad, grado de lisura al tacto y propiedades antiestáticas. Además es compatible con otras resinas para el acabado textil y no provoca el amarillamiento en los tejidos e hilos. Su composición es un ácido graso poliamina condensado de color blanco. No posee carga iónica, posee baja viscosidad y excelente penetración, por lo tanto, logra un satisfactorio acabado. En la Tabla A1.1 se indica la dosificación a utilizar.

**Tabla AI.1.** Condiciones de aplicación del suavizante

<b>Método empleado</b>	<b>Dosificación de suavizante</b>	<b>T (°C)</b>	<b>T (min)</b>	<b>Secado T (°C)</b>
Agotamiento (Barca, baños de circulación y autoclaves)	1-3 %	30-40	20-30	x
Impregnación directa en Jigger	20-50 g/L	x	x	120-140

(Dyutex, 2007)

## ANEXO II

**RESULTADOS DEL TÍTULO Y DE LOS ENSAYOS DE TRACCIÓN  
REALIZADOS EN LA FIBRA DE FORMIO (*PHORMIUM TENAX*)**

**Tabla AII.1.** Título y tenacidad de la fibra de formio sin ningún tratamiento

Nº	L (m)	Peso (mg)	Fuerza máxima (N)	Título (Tex)	Tenacidad (cN/Tex)
1	0,2	2,1	6,866	10,50	65,39
2	0,2	4,2	10,68	21,00	50,86
3	0,2	2,1	4,578	10,50	43,60
4	0,2	3,5	7,629	17,50	43,59
5	0,2	4,3	9,155	21,50	42,58
6	0,2	5,5	9,918	27,50	36,07
7	0,2	3,6	6,485	18,00	36,03
8	0,2	1,5	3,815	7,50	50,87
9	0,2	3,2	8,011	16,00	50,07
10	0,2	2,4	3,815	12,00	31,79
11	0,2	4,2	12,21	21,00	58,14
12	0,2	5,0	9,918	25,00	39,67
13	0,2	4,9	9,918	24,50	40,48
14	0,2	2,1	4,578	10,50	43,60
15	0,2	4,1	6,866	20,50	33,49
16	0,2	3,2	6,104	16,00	38,15
17	0,2	4,7	9,918	23,50	42,20
18	0,2	4,5	8,392	22,50	37,30
19	0,2	2,5	6,866	12,50	54,93
20	0,2	3,1	8,774	15,50	56,61
21	0,2	3,8	9,155	19,00	48,18
22	0,2	4,5	5,722	22,50	25,43
23	0,2	5,2	12,59	26,00	48,42
24	0,2	3,0	7,248	15,00	48,32
25	0,2	2,4	5,341	12,00	44,51
26	0,2	2,1	5,722	10,50	54,50
27	0,2	2,1	4,959	10,50	47,23
28	0,2	2,4	4,578	12,00	38,15
29	0,2	2,7	7,248	13,50	53,69
30	0,2	1,9	3,815	9,50	40,16
<b>Promedio</b>				16,80	44,8
<b>Desviación Estándar</b>				5,74	8,74

**Tabla AII.2.** Propiedades mecánicas de la fibra de formio descrudada

N°	L (m)	Peso (mg)	Fuerza máxima (N)	Título (Tex)	Tenacidad (cN/Tex)
1	0,2	1,8	3,052	9,00	33,91
2	0,2	2,4	3,815	12,00	31,79
3	0,2	5,1	6,104	25,50	23,94
4	0,2	2,5	4,578	12,50	36,62
5	0,2	4,8	12,970	24,00	54,04
6	0,2	3,0	9,155	15,00	61,03
7	0,2	2,0	3,815	10,00	38,15
8	0,2	4,6	10,68	23,00	46,43
9	0,2	3,5	9,155	17,50	52,31
10	0,2	2,8	3,815	14,00	27,25
11	0,2	3,0	3,052	15,00	20,35
12	0,2	2,6	8,392	13,00	64,55
13	0,2	4,7	9,155	23,50	38,96
14	0,2	4,4	12,970	22,00	58,95
15	0,2	3,9	9,155	19,50	46,95
16	0,2	4,2	9,918	21,00	47,23
17	0,2	3,3	8,392	16,50	50,86
18	0,2	5,0	10,680	25,00	42,72
19	0,2	3,8	10,680	19,00	56,21
20	0,2	3,6	9,155	18,00	50,86
21	0,2	2,0	4,578	10,00	45,78
22	0,2	2,7	2,289	13,50	16,96
23	0,2	2,5	4,578	12,50	36,62
24	0,2	2,0	3,052	10,00	30,52
25	0,2	3,3	6,104	16,50	36,99
26	0,2	2,5	3,815	12,50	30,52
27	0,2	3,6	8,392	18,00	46,62
28	0,2	2,8	3,052	14,00	21,80
29	0,2	2,2	6,104	11,00	55,49
30	0,2	3,0	9,155	15,00	61,03
<b>Promedio</b>				16,27	42,18
<b>Desviación estándar</b>				4,89	13,14

**Tabla AII.3.** Título y tenacidad de la fibra de formio blanqueada con peróxido de hidrógeno al 35 %, 3mL/L durante 60 min a temperatura de ebullición

Nº	L(m)	Peso (mg)	Fuerza máxima (N)	Título (Tex)	Tenacidad (cN/Tex)
1	0,2	2,2	5,341	11,00	48,55
2	0,2	2,6	6,104	13,00	46,95
3	0,2	4,6	3,815	23,00	16,59
4	0,2	3,0	4,959	15,00	33,06
5	0,2	3,3	7,629	16,50	46,24
6	0,2	3,5	4,959	17,50	28,34
7	0,2	2,5	8,774	12,50	70,19
8	0,2	3,5	6,104	17,50	34,88
9	0,2	4,8	9,537	24,00	39,74
10	0,2	4,9	11,44	24,50	46,69
11	0,2	3,8	7,248	19,00	38,15
12	0,2	2,1	3,433	10,50	32,70
13	0,2	3,7	5,722	18,50	30,93
14	0,2	3,2	8,392	16,00	52,45
15	0,2	1,9	2,67	9,50	28,11
16	0,2	2,9	7,629	14,50	52,61
17	0,2	2,6	6,866	13,00	52,82
18	0,2	1,8	2,289	9,00	25,43
19	0,2	2,3	2,67	11,50	23,22
20	0,2	2,1	4,578	10,50	43,60
21	0,2	1,7	4,959	8,50	58,34
22	0,2	2,4	4,578	12,00	38,15
23	0,2	3,0	7,629	15,00	50,86
24	0,2	2,2	8,392	11,00	76,29
25	0,2	4,8	7,629	24,00	31,79
26	0,2	1,8	2,289	9,00	25,43
27	0,2	2,1	2,289	10,50	21,80
28	0,2	1,9	5,341	9,50	56,22
29	0,2	2,9	2,67	14,50	18,41
30	0,2	3,0	5,341	15,00	35,61
<b>Promedio</b>				14,52	40,14
<b>Desviación estándar</b>				4,76	14,71

**Tabla AII.4.** Título y tenacidad de la fibra de formio blanqueada con peróxido de hidrógeno al 35 %, 5mL/L durante 60 min a temperatura de ebullición

N°	L(m)	Peso (mg)	Fuerza máxima (N)	Título (Tex)	Tenacidad (cN/Tex)
1	0,2	3,0	5,341	15,00	35,61
2	0,2	2,9	6,104	14,50	42,10
3	0,2	4,6	6,104	23,00	26,54
4	0,2	3,1	8,392	15,50	54,14
5	0,2	4,0	9,918	20,00	49,59
6	0,2	1,7	3,052	8,50	35,91
7	0,2	4,6	9,918	23,00	43,12
8	0,2	2,6	5,341	13,00	41,08
9	0,2	2,9	2,289	14,50	15,79
10	0,2	1,6	5,341	8,00	66,76
11	0,2	3,5	6,485	17,50	37,06
12	0,2	2,3	3,815	11,50	33,17
13	0,2	3,0	8,011	15,00	53,41
14	0,2	2,2	6,104	11,00	55,49
15	0,2	2,9	6,104	14,50	42,10
16	0,2	2,6	7,629	13,00	58,68
17	0,2	3,3	6,104	16,50	36,99
18	0,2	2,5	3,815	12,50	30,52
19	0,2	2,1	2,670	10,50	25,43
20	0,2	4,7	12,97	23,50	55,19
21	0,2	3,3	3,433	16,50	20,81
22	0,2	1,5	3,052	7,50	40,69
23	0,2	3,5	3,052	17,50	17,44
24	0,2	3,1	6,866	15,50	44,30
25	0,2	2,2	3,815	11,00	34,68
26	0,2	1,9	4,578	9,50	48,19
27	0,2	2,8	3,052	14,00	21,80
28	0,2	3,5	7,629	17,50	43,59
29	0,2	2,0	3,815	10,00	38,15
30	0,2	2,6	6,866	13,00	52,82
<b>Promedio</b>				14,42	40,04
<b>Desviación estándar</b>				4,26	12,73

**Tabla AII.5.** Título y tenacidad de la fibra de formio blanqueada con peróxido de hidrógeno al 50 %, 3mL/L durante 30 min a temperatura de ebullición

Nº	L(m)	Peso (mg)	Fuerza máxima (N)	Título (Tex)	Tenacidad (cN/Tex)
1	0,2	1,80	3,052	9,00	33,91
2	0,2	2,00	3,052	10,00	30,52
3	0,2	4,10	8,392	20,50	40,94
4	0,2	4,10	7,629	20,50	37,21
5	0,2	2,80	3,052	14,00	21,80
6	0,2	2,20	3,052	11,00	27,75
7	0,2	3,20	3,815	16,00	23,84
8	0,2	1,90	3,815	9,50	40,16
9	0,2	3,20	5,341	16,00	33,38
10	0,2	3,30	6,866	16,50	41,61
11	0,2	3,70	3,815	18,50	20,62
12	0,2	1,80	4,578	9,00	50,87
13	0,2	3,80	8,774	19,00	46,18
14	0,2	3,80	7,248	19,00	38,15
15	0,2	1,80	3,052	9,00	33,91
16	0,2	3,00	7,629	15,00	50,86
17	0,2	2,60	6,104	13,00	46,95
18	0,2	2,40	6,866	12,00	57,22
19	0,2	3,70	7,629	18,50	41,24
20	0,2	2,40	3,815	12,00	31,79
21	0,2	4,40	12,210	22,00	55,50
22	0,2	4,10	5,341	20,50	26,05
23	0,2	3,10	9,155	15,50	59,06
24	0,2	3,70	9,918	18,50	53,61
25	0,2	2,20	4,578	11,00	41,62
26	0,2	4,20	7,629	21,00	36,33
27	0,2	2,10	3,815	10,50	36,33
28	0,2	4,50	6,866	22,50	30,52
29	0,2	4,30	9,155	21,50	42,58
30	0,2	3,70	9,155	18,50	49,49
<b>Promedio</b>				15,65	39,33
<b>Desviación estándar</b>				4,49	10,53

**Tabla AII.6.** Título y tenacidad de la fibra de formio blanqueada con peróxido de hidrógeno al 50 %, 5mL/L durante 30 min a temperatura de ebullición

Nº	L(m)	Peso (mg)	Fuerza máxima (N)	Título (Tex)	Tenacidad (cN/Tex)
1	0,2	3,30	5,341	16,50	32,37
2	0,2	3,20	4,959	16,00	30,99
3	0,2	2,30	3,433	11,50	29,85
4	0,2	2,00	3,433	10,00	34,33
5	0,2	1,80	3,433	9,00	38,14
6	0,2	1,80	4,578	9,00	50,87
7	0,2	1,80	3,052	9,00	33,91
8	0,2	2,10	3,052	10,50	29,07
9	0,2	2,80	3,433	14,00	24,52
10	0,2	1,70	4,578	8,50	53,86
11	0,2	2,30	3,815	11,50	33,17
12	0,2	3,90	7,248	19,50	37,17
13	0,2	3,40	3,815	17,00	22,44
14	0,2	3,70	6,866	18,50	37,11
15	0,2	2,10	5,341	10,50	50,87
16	0,2	3,50	9,155	17,50	52,31
17	0,2	3,10	5,722	15,50	36,92
18	0,2	2,40	2,289	12,00	19,08
19	0,2	5,20	5,341	26,00	20,54
20	0,2	3,50	4,578	17,50	26,16
21	0,2	4,60	11,440	23,00	49,74
22	0,2	3,60	4,959	18,00	27,55
23	0,2	2,40	4,959	12,00	41,33
24	0,2	3,70	6,485	18,50	35,05
25	0,2	2,70	6,866	13,50	50,86
26	0,2	2,90	3,052	14,50	21,05
27	0,2	3,90	4,959	19,50	25,43
28	0,2	3,50	4,196	17,50	23,98
29	0,2	4,10	11,440	20,50	55,80
30	0,2	3,50	3,052	17,50	17,44
<b>Promedio</b>				15,13	34,73
<b>Desviación estándar</b>				4,48	11,43



**Tabla AII.7.** Título y tenacidad de la fibra de formio blanqueada con peróxido de hidrógeno al 50 %, 3mL/L durante 60 min a temperatura de ebullición

Nº	L(m)	Peso (mg)	Fuerza máxima (N)	Título (Tex)	Tenacidad (cN/Tex)
1	0,2	1,7	2,289	8,50	26,93
2	0,2	3,8	4,959	19,00	26,10
3	0,2	3,3	7,629	16,50	46,24
4	0,2	1,6	3,052	8,00	38,15
5	0,2	3,3	5,722	16,50	34,68
6	0,2	3,9	6,485	19,50	33,26
7	0,2	2,0	3,815	10,00	38,15
8	0,2	3,9	6,866	19,50	35,21
9	0,2	3,0	3,815	15,00	25,43
10	0,2	3,6	6,104	18,00	33,91
11	0,2	1,6	2,289	8,00	28,61
12	0,2	2,6	4,578	13,00	35,22
13	0,2	1,7	4,578	8,50	53,86
14	0,2	2,6	4,578	13,00	35,22
15	0,2	3,3	9,155	16,50	55,48
16	0,2	2,3	4,578	11,50	39,81
17	0,2	4,3	5,341	21,50	24,84
18	0,2	2,9	6,104	14,50	42,10
19	0,2	4,5	11,440	22,50	50,84
20	0,2	4,5	12,970	22,50	57,64
21	0,2	3,6	5,341	18,00	29,67
22	0,2	4,0	2,670	20,00	13,35
23	0,2	1,8	3,815	9,00	42,39
24	0,2	2,9	4,959	14,50	34,20
25	0,2	3,4	3,052	17,00	17,95
26	0,2	2,8	3,052	14,00	21,80
27	0,2	4,0	6,866	20,00	34,33
28	0,2	1,5	3,815	7,50	50,87
29	0,2	1,3	2,670	6,50	41,08
30	0,2	3,1	3,433	15,50	22,15
<b>Promedio</b>				14,80	35,65
<b>Desviación estándar</b>				4,85	11,14

**Tabla AII.8.** Título y tenacidad de la fibra de formio blanqueada con peróxido de hidrógeno al 50 %, 5mL/L durante 60 min a temperatura de ebullición

N°	L(m)	Peso (mg)	Fuerza máxima (N)	Título (Tex)	Tenacidad (cN/Tex)
1	0,2	1,9	3,815	9,50	40,16
2	0,2	1,9	2,289	9,50	24,09
3	0,2	1,8	2,289	9,00	25,43
4	0,2	4,2	6,104	21,00	29,07
5	0,2	2,2	2,289	11,00	20,81
6	0,2	3,4	8,774	17,00	51,61
7	0,2	1,9	2,289	9,50	24,09
8	0,2	2,5	3,815	12,50	30,52
9	0,2	4,3	7,629	21,50	35,48
10	0,2	2,2	2,289	11,00	20,81
11	0,2	1,4	2,289	7,00	32,70
12	0,2	4,8	10,680	24,00	44,50
13	0,2	4,5	9,918	22,50	44,08
14	0,2	2,8	4,959	14,00	35,42
15	0,2	4,9	10,680	24,50	43,59
16	0,2	2,6	6,104	13,00	46,95
17	0,2	3,3	7,629	16,50	46,24
18	0,2	4,2	4,578	21,00	21,80
19	0,2	3,3	5,341	16,50	32,37
20	0,2	2,0	2,289	10,00	22,89
21	0,2	2,6	3,815	13,00	29,35
22	0,2	2,6	2,289	13,00	17,61
23	0,2	3,2	6,104	16,00	38,15
24	0,2	3,7	6,104	18,50	32,99
25	0,2	3,2	3,052	16,00	19,08
26	0,2	2,5	4,578	12,50	36,62
27	0,2	1,2	2,289	6,00	38,15
28	0,2	2,3	3,815	11,50	33,17
29	0,2	2,8	3,815	14,00	27,25
30	0,2	2,6	6,104	13,00	46,95
<b>Promedio</b>				14,47	33,06
<b>Desviación estándar</b>				5,01	9,56

**Tabla AII.9.** Título y tenacidad de la fibra de formio apta para hilar

Nº	Longitud (cm)	Peso (mg)	Fuerza máxima (N)	Título (Tex)	Tenacidad (cN/Tex)
1	0,2	2,4	5,341	12,00	44,51
2	0,2	3,3	6,866	16,50	41,61
3	0,2	3,6	5,341	18,00	29,67
4	0,2	4,8	8,392	24,00	34,97
5	0,2	4,8	3,815	24,00	15,90
6	0,2	2,5	3,815	12,50	30,52
7	0,2	2,0	4,578	10,00	45,78
8	0,2	1,9	1,526	9,50	16,06
9	0,2	3,9	9,918	19,50	50,86
10	0,2	1,8	3,052	9,00	33,91
11	0,2	1,7	4,578	8,50	53,86
12	0,2	1,6	2,289	8,00	28,61
13	0,2	2,9	2,289	14,50	15,79
14	0,2	2,5	3,052	12,50	24,42
15	0,2	3,3	2,289	16,50	13,87
16	0,2	4,6	6,866	23,00	29,85
17	0,2	2,7	6,104	13,50	45,21
18	0,2	3,7	6,104	18,50	32,99
19	0,2	2,6	4,578	13,00	35,22
20	0,2	2,5	4,578	12,50	36,62
21	0,2	1,8	2,289	9,00	25,43
22	0,2	3,1	4,578	15,50	29,54
23	0,2	2,6	4,578	13,00	35,22
24	0,2	4,6	6,866	23,00	29,85
25	0,2	4,0	6,104	20,00	30,52
26	0,2	3,1	6,866	15,50	44,30
27	0,2	3,1	6,866	15,50	44,30
28	0,2	3,1	5,341	15,50	34,46
29	0,2	4,3	3,815	21,50	17,74
30	0,2	2,6	4,578	13,00	35,22
<b>Promedio</b>				15,23	32,89
<b>Desviación estándar</b>				4,78	10,57

## ANEXO III

## ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA TENACIDAD DE LAS FIBRAS DE FORMIO DESCRUDADA Y BLANQUEADAS

**Tabla AIII.1.** Resumen para el análisis de varianza de la tenacidad de la fibra descrudada y de las fibras blanqueadas

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Fibra descrudada	30	1 265,47	42,18	172,68
Fibra blanqueada H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 35 % 3mL/L 60 min	30	1 204,14	40,14	216,37
Fibra blanqueada H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 35 % 5mL/L 60 min	30	1 201,15	40,04	162,10
Fibra blanqueada H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 50 % 3mL/L 30 min	30	1 180,00	39,33	110,85
Fibra blanqueada H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 50 % 5mL/L 30 min	30	1 041,92	34,73	130,71
Fibra blanqueada H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 50 % 3mL/L 60 min	30	1 069,46	35,65	124,20
Fibra blanqueada H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 50 % 5mL/L 60 min	30	991,95	33,06	91,30

**Tabla AIII.2.** Análisis de varianza de la tenacidad de la fibra descrudada y de las fibras blanqueadas

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	2 053,83	6	342,31	2,38	0,03	2,14
Dentro de los grupos	29 238,22	203	144,03			
Total	31 292,05	209				

**Tabla AIII.3.** Análisis LSD de la tenacidad de la fibra descrudada y de las fibras blanqueadas

Contraste	LSD	Valor absoluto (X1-X2)*	Diferencia estadística
Fibra descrudada-H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 35 % 3mL/L 60 min	6,11	2,04	No
Fibra descrudada-H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 35 % 5mL/L 60 min	6,11	2,14	No
Fibra descrudada-H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 50 % 3mL/L 30 min	6,11	2,85	No
Fibra descrudada-H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 50 % 5mL/L 30 min	6,11	7,45	Si
Fibra descrudada-H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 50% 3mL/L 60 min	6,11	6,53	Si
Fibra descrudada-H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 50 % 5mL/L 60 min	6,11	9,12	Si
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 35 % 3mL/L 60 min - H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 35 % 5mL/L 60 min	6,11	0,09	No
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 35 % 3mL/L 60 min - H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 50 % 3mL/L 30 min	6,11	0,81	No
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 35 % 3mL/L 60 min - H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 50 % 5mL/L 30 min	6,11	5,41	No
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 35 % 3mL/L 60 min - H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 50 % 3mL/L 60 min	6,11	4,49	No
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 35 % 3mL/L 60 min - H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 50 % 5mL/L 60 min	6,11	7,07	Si
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 35 % 5mL/L 60 min - H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 50 % 3mL/L 30 min	6,11	0,70	No
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 35 % 5mL/L 60 min - H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 50 % 5mL/L 30 min	6,11	5,31	No
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 35 % 5mL/L 60 min - H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 50 % 3mL/L 60 min	6,11	4,39	No
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 35 % 5mL/L 60 min - H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 50 % 5mL/L 60 min	6,11	6,97	Si
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 50 % 3mL/L 30 min - H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 50 % 5mL/L 30 min	6,11	4,60	No
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 50 % 3mL/L 30 min - H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 50 % 3mL/L 60 min	6,11	3,68	No
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 50 % 3mL/L 30 min - H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 50 % 5mL/L 60 min	6,11	6,27	Si
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 50 % 5mL/L 30 min - H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 50 % 3mL/L 60 min	6,11	-0,91	No
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 50 % 5mL/L 30 min - H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 50 % 5mL/L 60 min	6,11	1,67	No
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 50 % 3mL/L 60 min - H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 50 % 5mL/L 60 min	6,11	2,58	No

\*Nota: X1-X2 es la diferencia entre las medias aritméticas de las propiedades evaluadas

## ANEXO IV

**ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL TÍTULO Y LA TENACIDAD DE LAS  
FIBRAS DE FORMIO SIN NINGÚN TRATAMIENTO Y LA APTA  
PARA HILAR**

**Tabla AIV.1.** Resumen para el análisis de varianza del título de la fibra cruda y de la fibra apta para hilar

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Fibra cruda	30	504	16,8	32,98
Fibra apta para hilar	30	457	15,23	22,87

**Tabla AIV.2.** Análisis de varianza del título de la fibra cruda y de la fibra apta para hilar

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	36,82	1	36,82	1,32	0,26	4,01
Dentro de los grupos	1 619,67	58	27,93			
Total	1 656,48	59				

**Tabla AIV.3.** Análisis LSD del título de la fibra cruda y de la fibra apta para hilar

LSD	Valor absoluto (X1-X2)*	Diferencia estadística
2,73	1,57	No

\*Nota: X1-X2 es la diferencia entre las medias aritméticas de las propiedades evaluadas

**Tabla AIV.4.** Resumen para el análisis de varianza de la tenacidad de la fibra cruda y de la fibra apta para hilar

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Fibra cruda	30	1 344,01	44,8	76,34
Fibra apta para hilar	30	986,81	32,89	111,81

**Tabla AIV.5.** Análisis de varianza de la tenacidad de la fibra cruda y de la fibra apta para hilar

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	2 126,54	1	2 126,54	22,60	1,36E-05	4,01
Dentro de los grupos	5 456,41	58	94,08			
Total	7 582,95	59				

**Tabla AIV.6.** Análisis LSD de la tenacidad de la fibra cruda y de la fibra apta para hilar

LSD	Valor absoluto (X1-X2)*	Diferencia estadística
5,013	11,91	Si

\*Nota: X1-X2 es la diferencia entre las medias aritméticas de las propiedades evaluadas

## ANEXO V

## PROPIEDADES MECÁNICAS DEL HILO DE FORMIO Y CABUYA

Tabla AV.1. Propiedades mecánicas del hilo de formio

Nº	Longitud (m)	Peso (g)	Fuerza (N)	$\Delta L$ (mm)	Título (Tex)	Tensión (cN/Tex)	Elongación a la ruptura%
1	0,5	311,6	99,2	6,638	623,20	15,91	6,64
2	0,5	364,6	108,0	9,766	729,20	14,81	9,77
3	0,5	331,2	110,2	11,600	662,40	16,64	11,60
4	0,5	302,9	116,3	9,460	605,80	19,20	9,46
5	0,5	319,0	116,7	7,935	638,00	18,29	7,94
6	0,5	344,9	139,6	9,460	689,80	20,24	9,46
7	0,5	377,0	125,9	6,715	754,00	16,70	6,72
8	0,5	396,8	128,6	13,010	793,60	16,20	13,01
9	0,5	464,9	131,2	11,830	929,80	14,11	11,83
10	0,5	341,9	112,9	8,049	683,80	16,51	8,05
11	0,5	491,0	147,6	8,354	982,00	15,03	8,35
12	0,5	363,7	121,7	6,256	727,40	16,73	6,26
13	0,5	439,5	130,1	9,155	879,00	14,80	9,16
14	0,5	316,9	106,0	6,714	633,80	16,72	6,71
15	0,5	490,8	128,9	7,820	981,60	13,13	7,82
16	0,5	354,3	116,3	9,308	708,60	16,41	9,31
17	0,5	471,5	146,5	12,210	943,00	15,54	12,21
18	0,5	436,8	117,5	7,935	873,60	13,45	7,94
19	0,5	427,7	108,3	6,409	855,40	12,66	6,41
20	0,5	400,3	100,7	9,766	800,60	12,58	9,77
21	0,5	366,6	117,9	8,240	733,20	16,08	8,24
22	0,5	413,3	135,4	8,850	826,60	16,38	8,85
23	0,5	382,7	108,7	6,104	765,40	14,20	6,10
24	0,5	493,8	121,3	7,019	987,60	12,28	7,02
25	0,5	512,5	142,7	7,012	1 025,00	13,92	7,01
26	0,5	382,8	102,6	5,417	765,60	13,40	5,42
27	0,5	438,2	117,9	10,870	876,40	13,45	10,87
28	0,5	369,0	149,5	7,324	738,00	20,26	7,32
29	0,5	366,7	139,6	8,545	733,40	19,03	8,55
30	0,5	322,4	111,8	6,714	644,80	17,34	6,71
31	0,5	393,5	103,8	6,065	787,00	13,19	6,07
32	0,5	460,0	137,3	8,049	920,00	14,92	8,05
33	0,5	393,5	107,2	4,578	787,00	13,62	4,58
<b>Promedio</b>					790,44	15,57	8,28
<b>Desviación estándar</b>					118,54	2,19	2,03



**Tabla AV.2.** Propiedades mecánicas del hilo de cabuya

Nº	Longitud (m)	Peso (g)	Fuerza (N)	$\Delta L$ (mm)	Título (Tex)	Tensión (cN/Tex)	Elongación a la ruptura (%)
1	0,25	126,8	128,20	9,155	507,20	25,28	9,16
2	0,25	126,9	93,46	7,019	507,60	18,41	7,02
3	0,25	137,8	118,30	6,714	551,20	21,46	6,71
4	0,25	133,3	97,66	10,380	533,20	18,32	10,38
5	0,25	130,5	92,32	10,070	522,00	17,69	10,07
6	0,25	145,1	145,70	9,156	580,40	25,10	9,16
7	0,25	132,3	109,50	6,714	529,20	20,69	6,71
8	0,25	132,7	99,56	6,714	530,80	18,76	6,71
9	0,25	130,9	96,13	7,782	523,60	18,36	7,78
10	0,25	138,3	123,20	6,790	553,20	22,27	6,79
11	0,25	132,6	102,20	7,362	530,40	19,27	7,36
12	0,25	110,1	62,56	7,324	440,40	14,21	7,32
13	0,25	109,9	86,98	5,913	439,60	19,79	5,91
14	0,25	121,3	141,10	6,447	485,20	29,08	6,45
15	0,25	152,1	143,80	7,782	608,40	23,64	7,78
16	0,25	153,9	151,10	8,202	615,60	24,55	8,20
17	0,25	150,1	133,10	7,744	600,40	22,17	7,74
<b>Promedio</b>					532,85	21,12	7,72
<b>Desviación estándar</b>					50,72	3,63	1,29

## ANEXO VI

## ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL HILO DE FORMIO Y CABUYA

**Tabla AVI.1.** Resumen para el análisis de varianza del título del hilo de formio y cabuya

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Hilo formio	33	26 084,6	790,44	14 051,1
Hilo cabuya	17	9 058,4	532,85	2 572,86

**Tabla AVI.2.** Análisis de varianza del título del hilo de formio y cabuya

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	744 507,28	1	744 507,28	72,81	3,49E-11	4,04
Dentro de los grupos	490 802,86	48	10 225,04			
Total	1,24E6	49				

**Tabla AVI.3.** Análisis LSD del título del hilo de formio y cabuya

LSD	Valor absoluto (X1-X2) *	Diferencia estadística
60,70	257,60	Si

\*Nota: X1-X2 es la diferencia entre las medias aritméticas de las propiedades evaluadas

**Tabla AVI.4.** Resumen para el análisis de varianza de la tenacidad del hilo de formio y cabuya

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Hilo formio	33	513,75	15,57	4,80
Hilo cabuya	17	359,02	21,12	13,16

**Tabla AVI.5.** Análisis de varianza de la tenacidad del hilo de formio y cabuya

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	345,70	1	345,70	45,59	1,77E-08	4,04
Dentro de los grupos	364,01	48	7,58			
Total	709,71	49				

**Tabla AVI.6.** Análisis LSD de la tenacidad del hilo de formio y cabuya

LSD	Valor absoluto (X1-X2) *	Diferencia estadística
1,65	5,55	Si

\*Nota: X1-X2 es la diferencia entre las medias aritméticas de las propiedades evaluadas

**Tabla AVI.7.** Resumen para el análisis de varianza de la elongación a la ruptura del hilo de formio y cabuya

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Hilo formio	33	273,18	8,28	4,11
Hilo cabuya	17	131,27	7,72	1,66

**Tabla AVI.8.** Análisis de varianza de la elongación a la ruptura del hilo de formio y cabuya

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	3,47	1	3,47	1,06	0,31	4,04
Dentro de los grupos	157,96	48	3,29			
Total	161,43	49				

**Tabla AVI.9.** Análisis LSD de la elongación a la ruptura del hilo de formio y cabuya

LSD	Valor absoluto (X1-X2) *	Diferencia estadística
1,09	0,56	No

\*Nota: X1-X2 es la diferencia entre las medias aritméticas de las propiedades evaluadas

## ANEXO VII

**TORSIONES POR METRO (TPM) DEL HILO DE FORMIO CON LOS  
MÉTODOS DIRECTO Y DE DESTORSIÓN-RETORSIÓN**

**Tabla AVII.1.** Resultados de los ensayos de torsión sobre el hilo de formio con los métodos directo y de destorsión-retorsión

<b>Nº Ensayo</b>	<b>Directo tpm</b>	<b>Destorsión-retorsión tpm</b>
1	120	120
2	80	90
3	100	110
4	110	110
5	70	70
6	100	95
7	90	95
8	90	90
9	90	80
10	90	85
11	90	95
12	70	65
13	120	125
14	100	95
15	100	110
16	110	105
17	110	115
18	70	60
19	70	70
20	140	140
21	120	125
22	130	135
23	70	75
24	120	110
25	70	60
<b>Promedio</b>	97,2	97,2
<b>Desv. Est.</b>	20,92	23,01