

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA  
Facultad de Ingeniería



Diseño de una toalla sanitaria biodegradable a partir del tallo  
de la planta de banano. Fase desarrollo.

Trabajo de graduación en modalidad de Megaproyecto presentado por:

Alejandra Paola Velásquez Barillas  
María Fernanda Mendizábal Batres  
María José Ramos Valdés  
Sandy Madeleine Guarcax Temaj

para optar al grado académico de Licenciados en Ingeniería Química.

Guatemala  
2016



Diseño de una toalla sanitaria biodegradable a partir del tallo de la planta de banano. Fase desarrollo.

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA  
Facultad de Ingeniería

Diseño de una toalla sanitaria biodegradable a partir del tallo  
de la planta de banano. Fase desarrollo.

Trabajo de graduación en modalidad de Megaproyecto presentado por:

Alejandra Paola Velásquez Barillas  
María Fernanda Mendizábal Batres  
María José Ramos Valdés  
Sandy Madeleine Guarcax Temaj

para optar al grado académico de Licenciados en Ingeniería Química.

Guatemala  
2016

Vo. Bo. :

(f) \_\_\_\_\_  
Ingeniero Gamaliel Zambrano

Tribunal Examinador:

(f) \_\_\_\_\_  
Ingeniero Gamaliel Zambrano

(f) \_\_\_\_\_  
Ingeniero Jaime Rosales

(f) \_\_\_\_\_  
Ingeniera Frances Recari

Fecha de aprobación: Guatemala, 21 de Noviembre de 2016

## PREFACIO

El proyecto comenzó con la iniciativa de SHEVA, quien es una asociación que trabaja con mujeres y está en búsqueda constante de proyectos innovadores para mejorar la situación de la mujer en nuestro país, Guatemala. Con la idea en mente y el conocimiento y deseo de emprender del departamento de Ingeniería Química de la Universidad del Valle se llevó a cabo un proyecto que proporciona una herramienta necesaria a precio accesible para las mujeres y a su vez es agradable con el ambiente debido a la reducción de contaminación de desechos agroindustriales y productos sanitarios no biodegradables.

Primero que todo agradecemos a Dios por nuestra vida y la oportunidad de culminar esta etapa profesional. El éxito del proyecto se debe principalmente a la perseverancia y esfuerzo del equipo de trabajo junto con la constante asesoría del Ingeniero Gamaliel Zambrano y a toda la ayuda proporcionada en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala.

Los conocimientos aplicados durante la realización del Megaproyecto son gracias a los catedráticos de Ingeniería Química en estos últimos años de carrera, quienes con esfuerzo y dedicación nos han transmitido sus conocimientos y enseñado a ser profesionales.

# ÍNDICE

PREFACIO .....	IV
LISTA DE ILUSTRACIONES.....	XII
LISTA DE CUADROS.....	XXIII
RESUMEN.....	XXXV
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. OBJETIVOS .....	3
A. Objetivo general del megaproyecto .....	3
B. Objetivos específicos.....	3
III. JUSTIFICACIÓN.....	5
IV. MARCO TEÓRICO .....	7
A. Banano .....	7
1. Sistema foliar (pseudotallo) .....	7
B. Cultivo de banano.....	8
1. Factores ambientales determinantes para la explotación del pinzote de banano.....	8
C. Estructura vegetal .....	9
1. Parénquima .....	9
2. Esclerénquima.....	9
3. Xilema .....	9
D. Fibras .....	10
1. Celulosa: .....	11

2. Hemicelulosa .....	12
3. La lignina: .....	13
4. Extractos: .....	13
5. Cenizas: .....	13
E. Tejidos vegetales .....	14
1. Parénquima .....	14
2. Colénquima .....	14
3. Esclerénquima .....	14
4. Xilema: .....	15
5. Floema: .....	15
F. Caracterización .....	15
G. Absorción .....	15
1. Método para la determinación de velocidad de absorción.....	17
2. Método para la determinación del factor de capacidad de absorción .....	17
H. Contenido de humedad.....	18
I. Desperdicio biodegradable .....	18
1. Factores que afectan la biodegradación: .....	19
J. Productos higiénicos desechables y prácticas de manejo integral de residuos	19
K. Análisis microbiológico.....	20
1. Bacteria .....	21
2. Hongos: .....	21
L. Vida de anaquel.....	21
M. Determinación de pH.....	22
N. Densidad .....	22
1. Densidad sustancia: .....	22
2. Densidad de partícula: .....	22
3. Densidad aparente: .....	22
4. Densidad a granel:.....	22

O.	Contenido de cenizas .....	23
P.	Pruebas mecánicas .....	23
	1. Módulo de Young:.....	24
	2. Ensayos de flexión:.....	24
Q.	Hidrólisis .....	24
	1. Hidrólisis hemicelulosa .....	25
	2. Hidrólisis celulosa .....	25
R.	Extracción de fibra de banano .....	25
S.	Tratamiento de fibra y realización de boninas .....	26
	1. Mecánico .....	26
	2. Químico .....	26
	a. Proceso Kraft .....	26
	1). Impregnación .....	27
	2). Cocimiento .....	27
	3).Proceso de recuperación .....	27
	4). Lavado.....	27
	b. Proceso a base de sulfito: .....	28
	c. Proceso soda .....	29
	3. Termoquímico y mecánico .....	30
T.	Menstruación .....	31
U.	Ciclo menstrual.....	32
V.	Higiene menstrual.....	32
W.	Toallas sanitarias femeninas .....	33
	3. Función.....	33
	4. Estructura de una toalla sanitaria.....	34
	5. Absorción, adsorción y distribución de fluidos en medios porosos.....	36
X.	Diagrama .....	37
	1. Diagrama de proceso: .....	37

2.	Diagrama de flujo:.....	38
Y.	Balances de materia .....	38
1.	Balances totales y por componentes: .....	39
2.	Pasos para resolver un balance de materia .....	39
Z.	BALANCES DE ENERGÍA.....	40
AA.	PROCESO DE FABRICACIÓN DE TOALLAS SANITARIAS.....	41
BB.	PROCESO DE FABRICACIÓN DEL PAPEL .....	41
CC.	EQUIPO .....	42
1.	Molino de rodillos:.....	42
2.	Triturador de discos dentados.....	42
3.	Tanque agitado:.....	42
4.	Despulpador: .....	42
5.	Máquina de papel: .....	42
6.	Troqueladora: .....	43
V.	Antecedentes.....	44
VI.	METODOLOGÍA.....	53
A.	Caracterización de pinzote de banano.....	53
1.	Análisis cualitativo: .....	53
2.	Experimentación cuantitativa .....	54
3.	Contenido de humedad.....	55
B.	Caracterización de fibra cruda .....	55
1.	pH.....	55
2.	Contenido de cenizas .....	56
3.	Densidad .....	57
4.	Capacidad de retención de agua .....	58
5.	Análisis químico.....	59
6.	Análisis microbiológico.....	60

7. Biodegradabilidad .....	62
C. Caracterización de materia prima ya tratada .....	63
1. Propiedades mecánicas.....	63
D. Extracción de fibra de banana .....	63
E. Tratamiento de fibra.....	64
1. Tratamiento mecánico .....	65
2. Tratamiento térmico.....	65
3. Tratamiento químico .....	65
a. Impregnación .....	65
b. Cocimiento .....	66
c. Lavado .....	66
F. Realización de pasta celulósica y bobinas .....	66
G. Mediciones cuantitativas de realización de pasta celulósica .....	67
H. Investigación para la elaboración de una toalla sanitaria .....	67
I. Desarrollo de la toalla sanitaria .....	68
J. Evaluación de la toalla sanitaria terminada .....	68
1. Solución Meds .....	68
2. Capacidad de absorción .....	69
3. Velocidad de absorción y factor de capacidad de absorción.....	69
K. BALANCES DE MASA Y ENERGÍA.....	70
VII. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES .....	72
VIII. RESULTADOS .....	73
IX. Discusión .....	95
X. Conclusiones .....	125
XI. Recomendaciones .....	129

XII. Bibliografía.....	131
XIII. Apéndice.....	137
A. Procedimiento de extracción de fibra de banano y formación de pliegos de bobina .....	137
4. Extracción de fibra de pinzote de banano: .....	137
b. Se .....	138
5. Tratamientos.....	141
a. Tratamiento mecánico.....	141
b. Pre-tratamiento térmico.....	141
c. Post-tratamiento térmico .....	141
d. Tratamiento químico 1, método Kraft .....	141
e. Tratamiento químico 2, método de proceso soda modificado.....	142
6. Reducción de tiempo y reactivo de tratamiento químico 2, método de proceso soda modificado .....	142
7. Realización de bobinas.....	143
B. Elaboración de toalla sanitaria a base de fibra de banano .....	147
C. Proceso de producción en planta artesanal .....	151
1. Descripción del proceso en planta artesanal:.....	151
2. Materiales y equipo.....	155
3. Diagrama de bloques de procesos .....	156
4. Costo del proceso.....	157
D. Proceso de producción industrial .....	158
1. Descripción del proceso industrial y equipos seleccionados .....	158
E. Datos originales .....	167
F. Datos intermedios .....	190
G. Cálculos de muestra .....	217
H. Análisis de error.....	230

I. Datos de placa.....	231
J. Cotizaciones .....	233
K. Anexos.....	253
L. Información reglamentaria .....	342
XIV. GLOSARIO .....	354

## LISTA DE ILUSTRACIONES

1	Corte transversal del tejido vegetal.....	9
2	Estructura de la pared celular vegetal. ....	10
3	Conjunto de microfibrillas vegetales .....	10
4	Moléculas de celulosa.....	12
5	Estructura de la hemicelulosa.....	13
6	Estructura de la lignina.....	14
7	Ensayo de flexión de una sección transversal rectangular.....	24
8	representación del proceso de hidrólisis de un compuesto disacárido. ....	24
9	Componentes de una toalla sanitaria .....	34
10	Adhesivos de una toalla Sanitaria.....	36
11	Equipo de manufactura diseñado por MIT, para fabricar toallas sanitarias diseñadas por SHE. ....	50
12	Estructura de metal utilizada para el secado y molino de rodillos para la suavización y textura, utilizados en Makapads.....	51
13	Sección transversal de sistema de tubos para centrífuga. ....	58
14	Dimensiones del prototipo final de toalla sanitaria propuesto .....	85
15	Dimensiones del patron para el centro de la toalla sanitaria y perforaciones de la capa 1,2 y 3.....	87
16	Gráfica de porcentaje de pérdida de peso de toalla sanitaria commercial y toalla sanitaria a partir de los pliegos del pinzote de banano, después de 80 días de enterramiento. ....	91
17	Diagrama del proceso de la propuesta de planta artesanal para la producción de toallas sanitarias biodegradables.....	92
18	Diagrama de la propuesta del proceso de producción industrial de toallas sanitarias biodegradables. ....	93
19	Pinzote de banano .....	137
20	Epidermis del pinzote de banano.....	138
21	Cortex del pinzote de banano .....	138

22	Molino de rodillos (trapiche) del Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala.....	139
23	Cortex del pinzote de banano después de pasar por el molino de rodillos .....	139
24	Remoción de capa inferior del cortex .....	139
25	Limpieza de la fibra de pinzote de banano .....	140
26	Fibra de pinzote de banano .....	140
27	Fibra de pinzote de banano .....	140
28	Pasta celulósica .....	142
29	Procedimiento para la obtención de pliegos de bobina a base de pasta celulósica.....	144
30	Pliego de bobina a base de pasta celulósica.....	145
31	Procedimiento de secado para el pliego de bobina .....	145
32	Pliego de bobina después de etapa de secado .....	146
33	Pliego de bobina seco en el molino de rodillos del Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala .....	146
34	Pliego de bobina liso .....	147
35	Diagrama de bloques de procesos para la propuesta de producción en planta artesanal de toallas sanitarias biodegradables.....	156
36	Extractor de fibra de banano.....	159
37	Triturador de discos dentados. ....	160
38	Diseño del tanque agitado. ....	161
39	Despulpador para la obtención de pasta celulósica. ....	162
40	Cabeza y caja de entrada de la máquina de papel de mesa plana.....	163
41	Sección de prensas y secadores de la máquina de papel. ....	163
42	Prensa de cilindros.....	164
43	Equipo de troquelado de papel. ....	165
44	Máquina de coser automática de cabezas múltiples. ....	166
45	Cotización de los cuchillos multiuso para el proceso en planta artesanal .....	233
46	Cotización del molino de rodillos para el proceso en planta artesanal .....	234

47	Cotización de cuchillos de acero inoxidable obtenida en Novex para el proceso en planta piloto .....	235
48	Cotización de tabla de madera obtenida en Siman para el proceso en planta piloto.....	235
49	Cotización de guantes obtenida en Novex para el proceso en planta piloto.....	236
50	Cotización de olla de acero inoxidable obtenida en OLX para el proceso en planta piloto.....	236
51	Cotización de la olla para el proceso en planta artesanal . .....	237
52	Cotización de cubeta multiusos obtenida en Novex para el proceso en planta piloto.....	237
53	Cotización de paleta para altas temperaturas obtenida en Siman para el proceso en planta piloto .....	238
54	Cotización de tijeras obtenida en Novex para el proceso en planta piloto .....	238
55	Cotización de resistencia eléctrica obtenida en Vivendo para el proceso en planta piloto.....	239
56	Cotización de licuadora industrial obtenida en Food Machine para el proceso en planta piloto .....	240
57	Cotización de la estufa de una hornilla para el proceso en planta artesanal . .....	241
58	Cotización de la espátula de madera y silicón para el proceso en planta artesanal .....	241
59	Cotización de bolsas negras marca Kanguro para el proceso en planta artesanal .....	242
60	Cotización del termómetro de vidrio para el proceso en planta artesanal .....	243
61	Cotización de la balanza para el proceso en planta artesanal . .....	244
62	Cotización de un set de tijeras inoxidable para el proceso en planta artesanal .....	245
63	Cotización de una caja almacenadora extra larga para el proceso en planta artesanal .....	245
64	Cotización del pH-metro para el proceso en planta artesanal .....	246

65	Cotización del beaker de 1000 mL para el proceso en planta artesanal .....	246
66	Cotización máquina de coser eléctrica para el proceso en planta artesanal . .....	247
67	Cotización de pila obtenida en Novex para el proceso en planta piloto .....	248
68	Cotización de óxido de calcio obtenida en Cefesa .....	248
69	Cotización de hidróxido de sodio obtenida en Quimiprova.....	249
70	Cotización de molino de dos rodillos de acero inoxidable con motor de 1 Hp por Mainox para el proceso en planta piloto .....	250
71	Cotización de balanza obtenida en Novex para el proceso en planta piloto .....	251
72	Cotización de mesa de trabajo obtenida en Novex para el proceso en planta piloto.....	251
73	Cotización de potenciómetro portátil obtenida en Dilab para el proceso en planta piloto.....	252
74	Ingreso de los pseudotallos .....	253
75	Vista de diámetros inferior y superior del pseudotallo. ....	253
76	Sección transversal de pinzote .....	254
77	Clasificación puntos de extracción de fibra.....	254
78	Muestra de la fibra extraída de distintas capas foliares.....	255
79	Sistemas de biodegradabilidad de fibra .....	255
80	Desgaste de la fibra a los 30 días de degradación.....	256
81	Desgaste de la fibra a los 60 días de degradación.....	257
82	Desgaste de la fibra a los 80 días de degradación.....	258
83	Muestras para contenido determinación de contenido de humedad, Vista lateral y vista de planta .....	259
84	Muestras luego de operación de desecación para determinación de contenido de humedad.....	259
85	Muestras para prueba de retención de agua. ....	260
86	Montaje de sistema para proceso de centrifugación prueba de retención de agua .....	260
87	Dilución de muestra 1/100 para prueba microbiológica.....	261

88 Medio de cultivo para prueba microbiológica.....	261
89 Resultados de prueba microbiológica .....	262
90 Muestras para determinación de pH.....	262
91 Disolución y determinación de pH .....	263
92 Sistema de vacío para remover aire atrapado para la prueba de densidad.....	263
93 Determinación de volumen desplazado por muestras inmersas en aceite para prueba de densidad. ....	264
94 Corte de fibra para homogenizar previo a prueba de ceniza.....	264
95 Quemado de muestras previo a mufla para prueba de ceniza .....	265
96 Muestras en mufla para ser incineradas a 550 C .....	265
97 Cenizas remanentes de muestras luego de incineración .....	266
98 Fibra en alcohol, etapa 1 proceso de análisis químico .....	266
99 Fibras expuestas a KOH al 24 %, etapa 2 proceso de análisis químico .....	267
100 Fibra expuesta a H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> al 72% y filtración y filtrado, etapa 3 proceso de análisis químico.....	267
101 Fibra Luego de ser expuesta a H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> al 5% y proceso de secado., etapa 4 de proceso de análisis químico.....	268
102 Sistema para la prueba de flexión .....	268
103 Degradación de pseudotallos expuestos al sol día 1 .....	269
104 Degradación de pseudotallos sin exposición solar día 1 .....	269
105 Degradación de pseudotallos expuestos al sol día 2 .....	270
106 Degradación de pseudotallos sin exposición solar día 2.....	270
107 Degradación de pseudotallos expuestos al sol día 3 .....	271
108 Degradación de pseudotallos sin exposición solar día 3.....	272
109 Degradación de pseudotallos expuestos al sol día 4 .....	272
110 Degradación de pseudotallos sin exposición solar día 4.....	273
111 Degradación de pseudotallos expuestos al sol día 5 .....	274
112 Degradación de pseudotallos sin exposición solar día 5.....	274
113 Degradación de pseudotallos expuestos al sol día 9 .....	275
114 Degradación de pseudotallos sin exposición solar día 9.....	276

115 Degradación de pseudotallos expuestos al sol día 10 .....	276
116 Degradación de pseudotallos expuestos al sol día 10 .....	277
117 Degradación de pseudotallos sin exposición solar día 10.....	277
118 Degradación de pseudotallos expuestos al sol día 11 .....	278
119 Degradación de pseudotallos sin exposición solar día 11.....	278
120 Degradación de pseudotallos expuestos al sol día 12 .....	279
121 Degradación de pseudotallos sin exposición solar día 12.....	280
122 Degradación de pseudotallos expuestos al sol día 15 .....	281
123 Degradación de pseudotallos sin exposición solar día 15.....	282
124 Degradación de pseudotallos expuestos al sol día 22 .....	283
125 Degradación de pseudotallos sin exposición solar día 22.....	284
126 Degradación de pseudotallos expuestos al sol día 29 .....	285
127 Degradación de pseudotallos sin exposición solar día 29.....	286
128 Degradación de pseudotallos expuestos al sol día 29 .....	287
129 Degradación de pseudotallos sin exposición solar día 41 .....	288
130 Degradación de pseudotallos expuestos al sol día 55 .....	289
131 Degradación de pseudotallos sin exposición solar día 55.....	290
132 Degradación de pseudotallos expuestos al sol día 63 .....	291
133 Degradación de pseudotallos sin exposición solar día 63.....	292
134 Degradación de pseudotallos expuestos al sol día 73 .....	293
135 Degradación de pseudotallos sin exposición solar día 73.....	294
136 Degradación de pseudotallos expuestos al sol día 80 .....	295
137 Degradación de pseudotallos expuestos al sol día 80 .....	296
138 Degradación de pseudotallos expuestos al sol día 87 .....	297
139 Degradación de pseudotallos expuestos al sol día 87 .....	298
140 Degradación de pseudotallos expuestos al sol día 101 .....	299
141 Degradación de pseudotallos expuestos al sol día 101 .....	300
142 Tratamiento mecánico, muestra de fibra antes de tratamiento y después.....	301
143 Pre tratamiento térmico y mecánico, muestra de fibra después de tratamiento térmico y después de tratamiento mecánico.....	302

144 Post tratamiento térmico y mecánico, muestra de fibra después de tratamiento térmico y después de tratamiento mecánico. ....	303
145 Tratamiento químico 1, método Kraft y mecánico, muestra de fibra después de método Kraft y después de tratamiento mecánico. ....	304
146 Tratamiento químico 2, proceso de soda modificado 30% y mecánico, muestra de fibra después de método soda modificado y después de tratamiento mecánico. ....	305
147 Tratamiento químico 2, proceso de soda modificado 25% y mecánico, tiempo 0.5 hora, muestra de fibra después de método soda modificado y después de tratamiento mecánico. ....	306
148 Tratamiento químico 2, proceso de soda modificado 25% y mecánico, tiempo 1.0 hora, muestra de fibra después de método soda modificado y después de tratamiento mecánico. ....	307
149 Tratamiento químico 2, proceso de soda modificado 25% y mecánico, tiempo 1.5 hora, muestra de fibra después de método soda modificado y después de tratamiento mecánico. ....	308
150 Tratamiento químico 2, proceso de soda modificado 25% y mecánico, tiempo 2.0 hora, muestra de fibra después de método soda modificado y después de tratamiento mecánico. ....	309
151 Tratamiento químico 2, proceso de soda modificado 25% y mecánico, tiempo 2.5 hora, muestra de fibra después de método soda modificado y después de tratamiento mecánico. ....	310
152 Tratamiento químico 2, proceso de soda modificado 25% y mecánico, tiempo 3.0 hora, muestra de fibra después de método soda modificado y después de tratamiento mecánico. ....	311
153 Tratamiento químico 2, proceso de soda modificado 25% y mecánico, tiempo 3.5 hora, muestra de fibra después de método soda modificado y después de tratamiento mecánico. ....	312

154 Tratamiento químico 2, proceso de soda modificado 25% y mecánico, tiempo 4.0 hora, muestra de fibra después de método soda modificado y después de tratamiento mecánico. ....	313
155 Tratamiento químico 2, proceso de soda modificado 10% y mecánico, tiempo 0.5 hora, muestra de fibra después de método soda modificado y después de tratamiento mecánico. ....	314
156 Tratamiento químico 2, proceso de soda modificado 10% y mecánico, tiempo 1.0 hora, muestra de fibra después de método soda modificado y después de tratamiento mecánico. ....	315
157 Tratamiento químico 2, proceso de soda modificado 10% y mecánico, tiempo 1.5 hora, muestra de fibra después de método soda modificado y después de tratamiento mecánico. ....	316
158 Tratamiento químico 2, proceso de soda modificado 10% y mecánico, tiempo 2.0 hora, muestra de fibra después de método soda modificado y después de tratamiento mecánico. ....	317
159 Tratamiento químico 2, proceso de soda modificado 10% y mecánico, tiempo 2.5 hora, muestra de fibra después de método soda modificado y después de tratamiento mecánico. ....	318
160 Tratamiento químico 2, proceso de soda modificado 10% y mecánico, tiempo 3.0 hora, muestra de fibra después de método soda modificado y después de tratamiento mecánico. ....	319
161 Tratamiento químico 2, proceso de soda modificado 10% y mecánico, tiempo 3.5 hora, muestra de fibra después de método soda modificado y después de tratamiento mecánico. ....	320
162 Tratamiento químico 2, proceso de soda modificado 10% y mecánico, tiempo 4.0 hora, muestra de fibra después de método soda modificado y después de tratamiento mecánico. ....	321
163 Tratamiento químico 2, proceso de soda modificado 5% y mecánico, tiempo 0.5 hora, muestra de fibra después de método soda modificado y después de tratamiento mecánico. ....	322

164 Tratamiento químico 2, proceso de soda modificado 5% y mecánico, tiempo 1.0 hora, muestra de fibra después de método soda modificado y después de tratamiento mecánico.....	323
165 Tratamiento químico 2, proceso de soda modificado 5% y mecánico, tiempo 1.5 hora, muestra de fibra después de método soda modificado y después de tratamiento mecánico.....	324
166 Tratamiento químico 2, proceso de soda modificado 5% y mecánico, tiempo 2.0 hora, muestra de fibra después de método soda modificado y después de tratamiento mecánico.....	325
167 Tratamiento químico 2, proceso de soda modificado 5% y mecánico, tiempo 2.5 hora, muestra de fibra después de método soda modificado y después de tratamiento mecánico.....	326
168 Tratamiento químico 2, proceso de soda modificado 5% y mecánico, tiempo 3.0 hora, muestra de fibra después de método soda modificado y después de tratamiento mecánico.....	327
169 Tratamiento químico 2, proceso de soda modificado 5% y mecánico, tiempo 3.5 hora, muestra de fibra después de método soda modificado y después de tratamiento mecánico.....	328
170 Tratamiento químico 2, proceso de soda modificado 5% y mecánico, tiempo 4.0 hora, muestra de fibra después de método soda modificado y después de tratamiento mecánico.....	329
171 Pliego de bobina 19X14 in .....	330
172 Primeros prototipos, cocidos a mano con fibra de pinzote de banano, sin perforaciones .....	331
173 Segundo prototipo, doble costura en la orilla con máquina plana, con perforaciones en la capa superior.....	331
174 Segundo prototipo con alas, costura simple con máquina plana, con perforaciones en la capa superior.....	331
175 Costura con máquina overlock .....	332
176 Elaboración de moldes con las dimensiones nuevas del prototipo final .....	332

177 Filtrado de solución con goma rabiga, solución Meds.....	333
178 Adición de colorante y cloruro de sodio, solución Meds.....	333
179 Sistema para realizar la prueba de capacidad de absorción de las toallas sanitarias.....	334
180 Prueba de capacidad de absorción de la toalla sanitaria, utilizando la solución Meds.....	334
181 Parte inferior de la toalla sanitaria, después de realizar la prueba de capacidad de absorción utilizando la solución Meds.....	335
182 Muestras utilizadas para realizar las pruebas de velocidad y factor de capacidad de absorción, toallas sanitarias lote 1 y comerciales.....	335
183 Medición del tiempo para la prueba de velocidad de absorción, toalla sanitaria lote 1.....	336
184 Medición de pH de las toallas sanitarias a partir de pliegos de fibra extraída del pinzote de banano.....	336
185 Sistemas de biodegradabilidad para las toallas sanitarias.....	337
186 Remoción de tierra en las muestras extraídas con una solución de agua y etanol.....	337
187 Degradación de la toalla sanitaria en un periodo de 80 días de ser enterrada, muestra 1 del primer lote.....	338
188 Degradación de la toalla sanitaria en un periodo de 80 días de ser enterrada, muestra 2 del primer lote.....	338
189 Degradación de la toalla sanitaria en un periodo de 80 días de ser enterrada, muestra 3 del primer lote.....	338
190 Degradación de la toalla sanitaria en un periodo de 80 días de ser enterrada, muestra 1 del segundo lote.....	339
191 Degradación de la toalla sanitaria en un periodo de 80 días de ser enterrada, muestra 2 del segundo lote.....	339
192 Degradación de la toalla sanitaria en un periodo de 80 días de ser enterrada, muestra 1 del tercer lote.....	340

193 Degradación de una toalla sanitaria comercial en un periodo de 80 días de ser enterrada.....	340
194 Placas petrifilm de las pruebas microbiológicas realizadas para las muestras del lote 1, 2 y 3.....	341
195 Información reglamentaria del hidróxido de sodio, parte 1.....	342
196 Información reglamentaria del hidróxido de sodio, parte 2.....	343
197 Información reglamentaria del hidróxido de sodio, parte 3.....	344
198 Información reglamentaria del hidróxido de sodio, parte 4.....	345
199 Información reglamentaria del hidróxido de sodio, parte 5.....	346
200 Información reglamentaria del hidróxido de sodio, parte 6.....	347
201 Información reglamentaria del hidróxido de calcio, parte 1.....	348
202 Información reglamentaria del hidróxido de calcio, parte 2.....	349
203 Información reglamentaria del hidróxido de calcio, parte 3.....	350
204 Información reglamentaria del hidróxido de sodio, parte 4.....	351
205 Información reglamentaria del hidróxido de sodio, parte 5.....	352
206 Información reglamentaria del hidróxido de sodio, parte 6.....	353

## LISTA DE CUADROS

1	Norma COGUANOR NGO 46 031- Parámetros de absorción de las toallas sanitarias comerciales, con base en sus dimensiones:.....	16
2	Norma COGUANOR NGO 46 031- Parámetro de velocidad de absorción máxima .....	17
3	Norma COGUANOR NGO 46 031- Factor de capacidad de absorción. ....	17
4	Norma COGUANOR NGO 46 031- Requisitos microbiológicos para las toallas sanitarias. ....	20
5	Propiedades fisicoquímicas y mecánicas de la fibra de banano y plátano .....	45
6	Comparación de tiempo y costos de metodologías evaluadas para la determinación de densidad. ....	46
7	Composición de la fibra de banano del pinzote de la plantación en Gaozhou (Guangdong, China) por el laboratorio de ingeniería de pulpa y papel de la Universidad de Tecnología del Sur de China .....	47
8	Criterio para determinación de degradación en el tiempo .....	53
9	Evaluación de degradación en el tiempo .....	54
10	Equipo utilizado en la prueba cuantitativa de los pseudotallos .....	54
11	Equipo utilizado en la determinación de contenido de humedad .....	55
12	Equipo utilizado en la determinación de pH.....	55
13	Cristalería utilizada en la determinación de pH .....	55
14	Reactivos utilizados en la determinación de pH .....	55
15	Equipo utilizado en la determinación de contenido de ceniza .....	56
16	Cristalería utilizada en la determinación de contenido de ceniza .....	56
17	Equipo utilizado en la determinación de densidad .....	57
18	Cristalería utilizada en la determinación de densidad .....	57
19	Reactivos utilizado utilizados en la determinación de densidad .....	57
20	Equipo utilizado en la determinación de capacidad de retención de agua.....	58
21	Reactivos utilizados en la determinación de capacidad de retención de agua .....	58
22	Equipo utilizado en el análisis químico .....	59

23	Cristalería utilizada en el análisis químico .....	59
24	Reactivos utilizado en el análisis químico.....	60
25	Equipo utilizado en el análisis microbiológico.....	60
26	Cristalería utilizada en el análisis microbiológico.....	61
27	Reactivos utilizado en el análisis microbiológico .....	61
28	Equipo utilizado en la determinación de biodegradabilidad.....	62
29	Cristalería utilizada en la determinación de biodegradabilidad .....	62
30	Reactivos utilizado en la determinación de biodegradabilidad .....	62
31	Equipo utilizado en las pruebas mecánicas de flexión .....	63
32	Equipo para la extracción de fibra de banano .....	63
33	Equipo para la realización de los tratamientos .....	65
34	Equipo para la realización de bobinas .....	66
35	Cristalería y equipo utilizado para la elaboración de la solución Meds .....	68
36	Cristalería y equipo utilizado para pruebas de absorción.....	69
37	Cristalería y equipo utilizado para determinar velocidad y capacidad de absorción .....	70
38	Cronograma de actividades realizadas durante el trabajo .....	72
39	Rango y promedio de dimensiones del pseudotallo .....	73
40	Rango y promedio de diámetros de los pseudotallos calculados de forma indirecta.....	73
41	Rango y promedio determinadas de porcentaje de humedad de las capas foliares .....	73
42	Rango y promedio del pH de la fibra recién extraída. ....	74
43	Rango y promedio de la Densidad relativa de la fibra recién extraída. ....	74
44	Rango y promedio del porcentaje de contenido de ceniza en fibras recién extraídas.....	74
45	Análisis químico: Rango y promedio del porcentaje de celulosa, hemicelulosa y lignina en las fibras recién extraídas.....	75
46	Rango y promedio del porcentaje de retención de agua .....	75

47	Prueba de degradabilidad de la fibra recién extraída: Rangos de porcentajes de pérdida de peso en el tiempo.....	75
48	Prueba de degradabilidad de la fibra recién extraída: Promedio de porcentajes de degradabilidad en el tiempo.....	76
49	Prueba de flexibilidad de las toallas sanitarias a base de fibra de banano .....	76
50	Prueba de flexibilidad de las toallas nocturnas comerciales .....	77
51	Prueba de flexibilidad de las toallas de día comerciales .....	77
52	Condensación de datos observados y medidos en el tiempo para los pseudotallos almacenados a dos diferentes condiciones .....	78
53	Porcentaje de fibra contenido en el cortex del pinzote de banano .....	78
54	Condiciones y resultados de los diferentes tratamientos utilizados para obtener pasta celulósica.....	79
55	Costo de tratamiento por el método Kraft y mecánico con base en materia prima .....	80
56	Costo de tratamienot por el método Kraft y mecánico con base en consumo eléctrico de equipo .....	80
57	Costo de tratamiento por el método proceso soda modificado y mecánico con base en materia prima .....	81
58	Costo de tratamiento por el método proceso soda modificado y mecánico con base en consumo eléctrico de equipo .....	81
59	Costo de tratamiento por el método de proceso de soda modificado y mecánico donde sí se obtuvo pasta celulósica variando tiempos de reacción y cantidad de óxido de calcio en solución .....	82
60	Inversión inicial de materiales para la extracción de fibra, tratamiento por el método proceso soda modificado y mecánico y la realización de bobina .....	83
61	Inversión inicial de equipo para la extracción de fibra, tratamiento por el método proceso soda modificado y mecánico y la realización de bobinas. ....	84
62	Costo de la planta piloto tomando en cuenta el equipo y con base en este calculando la instalación, tubería, electricidad, instrumentos, batería y servicios,	

excavación y auxiliares con base en al Chemical Engineer's Handbook, (Perry, 1999). .....	84
63 Costo de cada bobina con base en las condiciones de los tres lotes realizados .....	85
64 Metodología para la obtención de bobinas a base de pasta celulósica de banano con los pasos para la obtención de la fibra y el tratamiento de proceso soda modificado y mecánico.....	86
65 Metodología para la producción de una toalla sanitaria a partir de los pliegos del pinzote de banano.....	88
66 Resultados promedio de peso, pruebas de capacidad de absorción, velocidad de absorción, microbiología y pH para toalla sanitaria de lote 1. ....	87
67 Resultados promedio de peso, pruebas de capacidad de absorción, velocidad de absorción, microbiología y pH para toalla sanitaria de lote 2 .....	89
68 Resultados promedio de peso, pruebas de capacidad de absorción, velocidad de absorción, microbiología y pH para toalla sanitaria de lote 3 .....	89
69 Resultados promedio de peso, pruebas de capacidad de absorción, velocidad de absorción, microbiología y pH para toalla sanitaria comercial.....	90
70 Costo de producción de una toalla sanitaria fabricada con base de fibra de banano .....	90
71 Equipo Seleccionado para cada subproceso industrial para la producción de toallas sanitarias biodegradables.....	94
72 Costos obtenidos del proceso en planta artesanal para la fabricación de toallas sanitarias biodegradables. ....	94
73 Equipo para la extracción de fibra de banano .....	137
74 Equipo para la realización de los tratamientos .....	141
75 Equipo para la realización de bobinas .....	143
76 Descripción del material o equipo necesario en cada subproceso.....	155
77 Comparativa de la inversión inicial utilizando o no precios de mercado artesanal. ....	157
78 Costo mensual y anual de los insumos del proceso.....	158
79 Especificaciones del extractor de fibra de banano. ....	159

80	Especificaciones del triturador de discos dentados. ....	159
81	Dimensiones del tanque agitado.....	160
82	Especificaciones del despulpador.....	161
83	Especificaciones de la máquina de papel de mesa plana. ....	162
84	Especificaciones de la prensa de cilindros. ....	164
85	Especificaciones del equipo de troquelado.....	164
86	Especificaciones de la máquina de coser automática de cabezas múltiples. ....	166
87	Medidas de largo, ancho y peso de los pseudotallos previo a su manipulación .....	167
88	Datos obtenido en pruebas de porcentaje de humedad en el pseudotallo de estudio No. 1 a 140 °C de operación .....	168
89	Datos obtenido en pruebas de porcentaje de humedad en el pseudotallo de estudio No. 2 a 140 °C de operación .....	168
90	Datos obtenidos en pruebas de porcentaje de humedad en el pseudotallo de estudio No. 3 a 140 °C de operación .....	169
91	Volumen y peso inicial en prueba de pH de la fibra extraída del pseudotallo No. 1 .....	169
92	Volumen y peso inicial en prueba de pH de la fibra extraída del pseudotallo No. 2 .....	170
93	Volumen y peso inicial en prueba de pH de la fibra extraída del pseudotallo No. 3 .....	170
94	Lecturas de volumen inicial y final de aceite y masa de la fibra a evaluar para la determinación de densidad del pseudotallo No. 1 .....	171
95	Lecturas de volumen inicial y final de aceite y masa de la fibra a evaluar para la determinación de densidad del pseudotallo No. 2 .....	171
96	Lecturas de volumen inicial y final de aceite y masa de la fibra a evaluar para la determinación de densidad del pseudotallo No. 3 .....	172
97	Lecturas de volumen y masa de aceite utilizadas para determinar la densidad del aceite de canola. ....	172
98	Datos iniciales para la determinación de contenido de ceniza pseudotallo No.1 .....	173
99	Datos iniciales para la determinación de contenido de ceniza pseudotallo No.2.....	173

100 Datos iniciales para la determinación de contenido de ceniza pseudotallo No.3.....	174
101 Determinación de pesos directos para el análisis de celulosa, lignina y hemicelulosa de la fibra obtenida del pseudotallo No.1 .....	174
102 Determinación de pesos directos para el análisis de celulosa, lignina y hemicelulosa de la fibra obtenida del pseudotallo No.2 .....	175
103 Pesos obtenidos para la determinación de retención de agua en las fibras del pseudotallo No. 1 .....	175
104 Pesos obtenidos para la determinación de retención de agua en las fibras del pseudotallo No. 2 .....	176
105 Pesos obtenidos para la determinación de retención de agua en las fibras del pseudotallo No. 3 .....	176
106 Determinación de pesos en el tiempo de 30, 60 y 80 días para la prueba de degradabilidad de las fibras extraídas .....	177
107 Pesos de las toallas sanitarias a base de fibra de banano evaluadas en la prueba mecánica de flexión .....	177
108 Pesos de las toallas sanitarias comerciales de día evaluadas en la prueba mecánica de flexión .....	177
109 Pesos de las toallas sanitarias comerciales de noche evaluadas en la prueba mecánica de flexión .....	178
110 Tabulaciones obtenidas en la extracción de fibra lote 1 .....	178
111 Tabulaciones obtenidas en la extracción de fibra lote .....	178
112 Tabulaciones obtenidas en la extracción de fibra lote .....	178
113 Mediciones de tronco de extracción lote 1 .....	178
114 Mediciones de tronco de extracción lote 2 .....	179
115 Mediciones de tronco de extracción lote 3 .....	179
116 Condiciones y resultados de los diferentes tratamientos utilizados para obtener pasta celulósica .....	179
117 Resultados obtenidos del método proceso de soda modificado y mecánico de reducción de tiempo y reactivos para formación de pasta celulósica .....	180
118 Datos obtenidos en la realización de bobinas de lote 1 .....	181

119 Datos obtenidos en la realización de bobinas de lote 2 .....	181
120 Datos obtenidos en la realización de bobinas de lote 3 .....	182
121 Espesor, peso y dimensión de las bobinas obtenidas en lote 1 .....	182
122 Espesor, peso y dimensión de las bobinas obtenidas en lote 2 .....	183
123 Espesor, peso y dimensión de las bobinas obtenidas en lote 3 .....	183
124 Datos obtenidos en la confección de las toallas sanitarias biodegradables.....	184
125 Prueba de absorción en toalla sanitaria a partir de pliegos de fibra extraída del pinzote de banano, lote 1, utilizando solución Meds. ....	184
126 Prueba de absorción en toalla sanitaria a partir de pliegos de fibra extraída del pinzote de banano, lote 2, utilizando solución Meds .....	184
127 Prueba de absorción en toalla sanitaria a partir de pliegos de fibra extraída del pinzote de banano, lote 3, utilizando solución Meds. ....	185
128 Prueba de pH realizada en toalla sanitaria a partir de pliegos de fibra extraída del pinzote de banano, lote 1.....	185
129 Prueba de pH realizada en toalla sanitaria a partir de pliegos de fibra extraída del pinzote de banano, lote 2.....	186
130 Prueba de pH realizada en toalla sanitaria a partir de pliegos de fibra extraída del pinzote de banano, lote 3.....	186
131 Prueba de pH realizada en toalla sanitaria comercial, flujo moderado. ....	187
132 Peso de toallas sanitaria a partir de pliegos de fibra extraída del pinzote de banano en un periodo de 30, 60 y 80 días de enterramiento, lote 1. ....	187
133 Peso de toallas sanitaria a partir de pliegos de fibra extraída del pinzote de banano en un periodo de 30, 60 y 80 días de enterramiento, lote 2. ....	187
134 Peso de toalla sanitaria a partir de pliegos de fibra extraída del pinzote de banano en un periodo de 30, 60 y 80 días de enterramiento, lote 3 .....	187
135 Peso de toallas sanitaria comerciales, flujo moderado, en un periodo 30, 60 y 80 días de enterramiento .....	188
136 Prueba de velocidad de absorción, lote 2.....	188
137 Prueba de velocidad de absorción, lote 3.....	188

138 Prueba de velocidad de absorción, toallas femeninas comerciales, flujo moderado .....	188
139 Número de colonias por placa contadas después de realizar prueba microbiológica para toallas sanitarias de los lotes 1,2 y 3, así como de una toalla comercial. Tiempo de incubación 48 horas, a 30 °C. ....	189
140 Determinación de diámetros de forma indirecta de los pseudotallos .....	190
141 Obtención del promedio de porcentaje de humedad de las capas foliares de los pseudotallos .....	190
142 Obtención del promedio de pH de las fibras extraídas de los pseudotallos .....	191
143 Determinación de densidad y promedio de resultados para la fibra del pseudotallo No. 1 .....	191
144 Determinación de densidad y promedio de resultados para la fibra del pseudotallo No. 2 .....	192
145 Determinación de densidad y promedio de resultados para la fibra del pseudotallo No. 3 .....	192
146 Determinación de densidad y promedio para el aceite de canola. ....	192
147 Determinación de contenido de ceniza pseudotallo No. 1 .....	193
148 Determinación de contenido de ceniza pseudotallo No. 2 .....	193
149 Determinación de contenido de ceniza pseudotallo No. 3 .....	194
150 Obtención del promedio del contenido de cenizas de las fibras extraídas de los pseudotallos .....	194
151 Determinación de lignina, celulos y hemicelulosa de las fibras extraídas del pseudotallo No. 1 .....	194
152 Determinación de lignina, celulos y hemicelulosa de las fibras extraídas del pseudotallo No. 2 .....	195
153 Determinación de porcentajes lignina, celulos y hemicelulosa de las fibras extraídas del pseudotallo No. 1 .....	195
154 Porcentajes promedios de porcentajes hemicelulosa, celulosa y lignina obtenidos de las fibras de los pseudotallos. ....	195

155	Determinación de porcentaje de retención de agua de la fibra extraída del pseudotallo No. 1 .....	196
156	Determinación de porcentaje de retención de agua de la fibra extraída del pseudotallo No. 2 .....	196
157	Determinación de porcentaje de retención de agua de la fibra extraída del pseudotallo No. 3 .....	197
158	Determinación de porcentajes promedio de retención de agua para las fibras de los pseudotallos .....	197
159	Determinación de diferencia de pesos y porcentaje de pérdida de peso en el tiempo de 30, 60 y 80 días para la prueba de degradabilidad de las fibras extraídas del pseudotallo No .1 .....	197
160	Determinación de diferencia de pesos y porcentaje de pérdida de peso en el tiempo de 30, 60 y 80 días para la prueba de degradabilidad de las fibras extraídas del pseudotallo No .2 .....	198
161	Determinación de diferencia de pesos y porcentaje de pérdida de peso en el tiempo de 30, 60 y 80 días para la prueba de degradabilidad de las fibras extraídas del pseudotallo No .3 .....	198
162	Evaluación de degradación en el tiempo para los pseudotallos A, B, D y E .....	199
163	Evaluación de degradación en el tiempo para los pseudotallos C y F .....	200
164	Porcentaje de fibra obtenido en relación a la masa del cortex de tronco de banano .....	200
165	Inversión inicial de materiales y equipo para extracción de fibra .....	201
166	Costo de extracción de fibra en base a consumo eléctrico de equipo y materia prima .....	201
167	Inversión inicial de materiales para poder realizar los tratamientos químicos y mecánicos .....	202
168	Costo de tratamiento por el método Kraft y mecánico con base en materia prima y consumo eléctrico de equipo .....	202
169	Costo de tratamiento por el método proceso soda modificado y mecánico con base en materia prima y consumo eléctrico de equipo en base a lote 1 .....	203

170 Costo de tratamiento por el método de proceso de soda modificado y mecánico donde sí se obtuvo pasta celulósica variando tiempos de reacción y cantidad de óxido de calcio en solución .....	204
171 Inversión inicial de materiales para realización de bobinas a base de pasta celulósica.....	204
172 Costo de la realización de bobinas a base de pasta celulósica en base a materia prima y consumo eléctrico de equipo .....	205
173 Inversión inicial de materiales para la extracción de fibra, tratamiento por el método proceso soda modificado y mecánico y la realización de bobinas. ....	206
174 Inversión inicial de equipo para la extracción de fibra, tratamiento por el método proceso soda modificado y mecánico y la realización de bobinas. ....	207
175 Costo de la planta piloto tomando en cuenta el equipo y con base en este calculando la instalación, tubería, electricidad, instrumentos, batería y servicios, excavación y auxiliares en base al Perry.....	207
176 Costo de extracción de fibra, tratamiento por el método proceso soda modificado y mecánico y la realización de bobinas con base en consumo eléctrico de equipo y materia prima con base a lote 1 .....	208
177 Costo de extracción de fibra, tratamiento por el método proceso soda modificado y mecánico y la realización de bobinas con base en consumo eléctrico de equipo y materia prima de acuerdo a lote 2 .....	209
178 Costo de extracción de fibra, tratamiento por el método proceso soda modificado y mecánico y la realización de bobinas con base en consumo eléctrico de equipo y materia prima según lote 3.....	210
179 Costo de cada bobina con base en las condiciones de los tres lotes realizados.....	210
180 Pérdida de peso en porcentaje, de toallas sanitaria a partir de pliegos de fibra extraída del pinzote de banano en un periodo de 30, 60 y 80 días de enterramiento, lote 1. ....	211
181 Pérdida de peso en porcentaje, de toallas sanitaria a partir de pliegos de fibra extraída del pinzote de banano en un periodo de 30, 60 y 80 días de enterramiento, lote 2. ....	211

182 Pérdida de peso en porcentaje, de toalla sanitaria a partir de pliegos de fibra extraída del pinzote de banano en un periodo de 30, 60 y 80 días de enterramiento, lote 3. ....	211
183 Pérdida de peso en porcentaje, de toallas sanitarias comerciales en un periodo de 30, 60 y 80 días de enterramiento, lote 1. ....	211
184 Factor de velocidad de absorción, toalla sanitarias lote 1. ....	211
185 Factor de velocidad de absorción, toalla sanitarias lote 2. ....	212
186 Factor de velocidad de absorción, toalla sanitarias lote 1. ....	212
187 Factor de velocidad de absorción, toalla sanitarias comercial, flujo moderado. ....	212
188 Prueba microbiológica realizada para toallas sanitarias de los lotes 1,2 y 3, así como de una toalla comercial. Tiempo de incubación 48 horas, a 30 °C.....	212
189 Costo de fabricación de una toalla sanitaria a partir de un pliego de fibra extraída del pinzote de banano. ....	213
190 - Promedios obtenidos de los tres lotes realizados en la producción en planta artesanal.....	214
191 - Datos obtenidos del balance de masa para cada subproceso en planta artesanal en un día. ....	214
192 - Flujos máxicos por hora obtenidos para el proceso de producción en planta artesanal.....	215
193 - Flujo máxico de residuos sólidos obtenidos en el proceso en planta artesanal.....	215
194 - Conversiones determinadas experimentalmente para escalar la producción. ....	215
195 - Datos obtenidos para la extracción de fibra en el proceso industrial. ....	215
196 - Datos obtenidos para la suavización en el proceso industrial. ....	216
197 - Datos obtenidos para la producción de pulpa en el proceso industrial, utilizando la conversión experimental y una consistencia al 10%. ....	216
198 - Datos obtenidos para la producción de papel en el proceso industrial, utilizando la conversión experimental. ....	216
199 - Datos obtenidos para la confección de toallas sanitarias en el proceso industrial. ....	216

200 Equipo utilizado en la metodología para la elaboración de pliegos de papel a base de fibra de banano en la Universidad del Valle de Guatemala.....	231
201 Equipo cotizado para la planta piloto. ....	232
202 Cotizaciones de materiales obtenidas en el mercado de Mixco a un precio de menudeo .....	252

## RESUMEN

El proyecto "Diseño de una toalla sanitaria biodegradable a partir del tallo de la planta de banano. Fase desarrollo" se inició con la caracterización de los pinzotes de banano, la fibra recién extraída. La fibra se trató para determinar si es posible la producción de pasta celulósica con el fin de ser empleada en una toalla sanitaria y al mismo tiempo para disponer de un buen manejo de la fibra. Se realizaron análisis físicos y químicos. La fibra que se extrajo presentó características físicas y químicas favorables para la producción de papel debido a su alto contenido de celulosa y bajo contenido de lignina con un promedio de  $71.4359 \pm 0.0492\%$  y  $5.6493 \pm 0.0330 - 6.2433 \pm 0.0311\%$  respectivamente. Luego se prosiguió a la extracción de fibra del pinzote de banano y tratamiento para la fabricación de una toalla sanitaria biodegradable, con lo que se determinó que una mezcla de método mecánico y químico del proceso de soda modificado era la forma más adecuada para poder extraerla debido al bajo costo y menor toxicidad de los productos utilizados para su elaboración. La pasta celulósica obtenida resultó adecuada para la elaboración de un pliego de bobina 19x14 in con un costo unitario promedio de Q. 0.79. Con los pliego se procedió a la realización de prototipos de toallas sanitarias que cumplan con las necesidades básicas del ciclo menstrual de una mujer con el costo unitario promedio de Q 0.81. La capacidad de absorción de las toallas sanitarias fue de 12.20 a  $12.30 \pm 0.01$  mL dando un total de tres toallas diarias cumpliendo con el flujo promedio de una mujer. Además se determinó que la degradabilidad de la toalla sanitaria fabricada estuvo en un rango de 78.22-93.28 % de pérdida de peso en 80 días. Por último se evaluó la escalabilidad de la planta obteniendo un costo unitario de toalla sanitaria de Q 0.25. Se recomienda que el tiempo de almacenaje máximo de los pseudotallos para evitar pérdidas de materia prima, enfermedades y un ambiente desagradable para las personas sea de dos semanas luego de haber sido cortados, evaluar otros métodos para obtener pasta celulósica a un menor precio del obtenido sin cambiar las condiciones de trabajo de las mujeres en la planta piloto.

# I. INTRODUCCIÓN

En la última década, Guatemala se ha colocado en el octavo puesto de cultivadores de banano a nivel mundial. El banano es el tercer producto de exportación de Guatemala (después del café y azúcar) generando más de 28,000 empleos. Debido a la producción de banano en Guatemala se tiene una gran cantidad de pinzote de banano el cual posee contiene un 31 % de fibra cruda la cual puede ser extraída para utilizar como materia prima para obtener diferentes productos.

Debido a sus características de alto contenido de celulosa y hemicelulosa y bajo contenido de lignina, así como un módulo de fuerza alto y es un adsorbente natural la fibra de banano tiene una aplicación para la realización de pasta celulósica, papel, cartón, entre otros productos similares. Por lo que el objetivo de este mega proyecto es caracterización y extracción de la fibra proveniente del pinzote de banano, y su posterior tratamiento para diseñar un prototipo de toalla sanitaria biodegradable y realizar una propuesta del proceso de producción en una planta piloto, evaluando su escalabilidad en base al costo del proceso y del prototipo final. El diseño de esta toalla sanitaria utiliza como guía las normas establecidas por la Comisión Guatemalteca de Normas (COGUANOR), las cuales hacen referencia a la capacidad de absorción, velocidad de absorción, pH y control microbiológico de los productos higiénicos. Así como también se utiliza información recopilada de otros estándares internaciones para el diseño de toallas sanitarias.

Debido a que la fibra presenta propiedad de adsorbente natural actualmente existen proyectos similares de toallas sanitarias a base de fibras naturales a nivel mundial como Jani Pads en Kenya a base de fibra de Jacinto, Makapad en África a base de papiro y Saathi en la India a base de fibra de banano, polipropileno y polietileno, sin embargo no son 100% biodegradables.

El trabajo está constituido por distintas secciones; en la sección de resumen se presenta una breve descripción del alcance del proyecto, metodología, resultados obtenidos relevantes y recomendaciones. En el índice se indica qué contenido presenta cada sección y en en qué página se encuentra. En la sección de antecedentes se presentan investigaciones realizadas con relación a lo que se realizó experimentalmente, para poder tener referencia para las experimentaciones y un punto de comparación a los resultados obtenidos. Se presenta los diferentes usos que la fibra de banano puede tener a nivel industrial y planta piloto, así como

los casos exitosos al ser empleadas como materia prima para la realización de toallas sanitarias.

En la sección de objetivos se plantea los alcances, qué se desea realizar y cómo se llevará a cabo. La sección de discusión se analizan los resultados obtenidos de acuerdo a la literatura y los resultados esperados. En la sección de conclusiones se sintetizan los resultados y descubrimientos obtenidos de acuerdo a la discusión; por último se presenta la sección de recomendaciones en donde se sugiere la realización de otras experimentaciones que no se encontraban dentro del alcance del presente trabajo para obtener más información sobre la materia prima y producto final. El apéndice presenta los datos originales, intermedios y cálculos de muestra que se recolectaron y realizaron durante la etapa experimental; además un análisis de error y propagación del mismo, debido a las incertidumbres durante las mediciones causadas por los instrumentos.

## II. OBJETIVOS

### A. Objetivo general del Megaproyecto

Caracterización y extracción de la fibra proveniente del pinzote de banano, y su posterior tratamiento para diseñar un prototipo de toalla sanitaria biodegradable y realizar una propuesta del proceso de producción en una planta piloto, evaluando su escalabilidad en base al costo del proceso y del prototipo final.

### B. Objetivos específicos

1. Caracterizar el pinzote de banano disponible que se utilizará en la fabricación de una toalla sanitaria mediante la determinación de sus dimensiones de diámetro y largo.
2. Caracterizar la fibra cruda proveniente del pinzote de banano a través de pruebas químicas, físicas y microbiológicas.
3. Caracterizar la fibra tratada proveniente del pinzote de banano mediante pruebas mecánicas.
4. Establecer el manejo adecuado del pinzote de banano para reducir su degradación mediante observación de sus características en el tiempo cuando es almacenado bajo exposición directa e indirecta de la luz solar.
5. Determinar la posibilidad de extracción de fibra del pinzote de banano por medio de una extracción mecánica del pinzote de banano.
6. Determinar el rendimiento de la extracción de fibra de pinzote de banano por medio de un balance de masa.
7. Evaluar los diferentes tipos de tratamiento de fibra obtenida y seleccionar el tratamiento de mejor rendimiento y costo en base a los resultados obtenidos en la realización de pasta celulósica y su funcionalidad para las bobinas, tomando en cuenta la materia prima, materiales y procesos.
8. Desarrollar la metodología para la obtención de bobinas a base de pasta celulósica de banano para la fabricación de una toalla sanitaria biodegradable con los pasos más efectivos para la obtención de la fibra y el tratamiento de mejor

rendimiento tomando en cuenta el costo y las variables del proceso para poderlo implementar en una planta piloto .

9. Determinar el costo de la bobina de pasta celulósica, partiendo del pinzote de banano, tomando en cuenta la materia prima, materiales y equipo de toda la metodología.
10. Construir prototipos de una toalla sanitaria de acuerdo a los estándares existentes en el mercado.
11. Evaluar las características de absorción del prototipo seleccionado, mediante la determinación de la velocidad de absorción y capacidad de absorción.
12. Evaluar la metodología de desecho y biodegradabilidad del prototipo seleccionado a partir de pruebas de enterramiento.
13. Realizar un diagrama de proceso y de flujo para la producción de toallas sanitarias biodegradables a nivel planta artesanal.
14. Realizar un balance de masa y energía del proceso de producción de toallas sanitarias biodegradables.
15. Seleccionar y dimensionar el equipo disponible en el mercado, para la fabricación de la toalla industrialmente.
16. Determinar el costo de fabricación de la línea planta artesanal, para la toalla sanitaria biodegradable, utilizando los balances de masa y energía mencionados.

### III. JUSTIFICACIÓN

Aproximadamente ochocientos millones de niñas en países en vía de desarrollo faltan a la escuela una semana todos los meses porque tienen su periodo menstrual y no tienen acceso a toallas sanitarias. En Guatemala, el 30% de las niñas en áreas rurales se salen de la escuela cuando comienzan a menstruar. Las toallas sanitarias comerciales no son una opción, ya que no pueden acceder a ellas debido a su elevado costo. Actualmente se han desarrollado toallas sanitarias ecológicas a base de bambú, planta de banano, papiro, jacinto, entre otras; que intentan solucionar este problema, sin embargo no existe una toalla sanitaria que sea 100% biodegradable y de bajo costo.

El proyecto integra varios componentes desde el tema de análisis de la fibra de banano, absorción y biodegradabilidad, también la educación hacia las niñas, adolescentes y mujeres sobre los temas de educación sexual, menstruación y el uso de productos alternativos para los días de sangrado. Con la educación se puede introducir el uso de una toalla sanitaria como alternativa para que puedan continuar con su día a día sin tener que dejar de hacer sus actividades y quedarse en casa. El proyecto también integra la oportunidad de usar el pinzote de banano por sus propiedades y por ser un desecho en las fincas bananeras y, por último, el tema de la propuesta de una planta piloto ligada al tema económico sobre el costo de cada toalla sanitaria.

Guatemala es uno de los mayores productores de banano con una producción de 78,329,100 quintales en el 2014, ocupando el octavo puesto a nivel mundial. El banano es el tercer producto de exportación en el país, con un crecimiento en la última década del 7%. La planta de banano es una hierba perenne de gran tamaño; al terminar la estación de cultivo se corta el pseudotallo, dejando crecer los vástagos que reemplazan a la planta madre. Esto quiere decir que por cada racimo de banano que se cosecha, se corta un pseudotallo, el cual genera una gran cantidad de desechos para la industria bananera. Actualmente, no se le da un uso específico más que abonar la tierra. La fibra obtenida del pseudotallo presenta un contenido aceptable de celulosa, hemicelulosa y bajo contenido de lignina, además de tener propiedades mecánicas tolerables.

Es por esto que se ha propuesto crear el diseño y proceso de producción de una toalla sanitaria biodegradable a base de fibra de banano, la cual sea económicamente accesible para mujeres jóvenes y adultas de las comunidades rurales de Guatemala. Con la

creación de este diseño y propuesta de línea de producción en planta piloto colocando una planta de producción en una finca con equipo semi-industrial y condiciones de operación trabajables en el campo (planta artesanal), se pretende crear un negocio para las comunidades ubicadas dentro o cerca de las fincas bananeras. Representando ingresos monetarios para las mujeres de dicha comunidad, así como el acceso a una toalla sanitaria más económica. De esta forma, se les brinda la oportunidad de tener una vida sin restricciones debido al período menstrual. Este proyecto es un potencial negocio a nivel industrial, ayudará a la disminución de los impactos ambientales, mediante la explotación de los beneficios de la planta de banano y principalmente reducir las restricciones para las mujeres guatemaltecas.

## IV. MARCO TEÓRICO

### A. Banano

Perteneciente a la familia de Musáceas. Es un fruto comestible, algunas variedades no los son debido a que poseen numerosas y duras pepitas (Champion, 1978) ,por lo que se ha clasificado un gran número de bananos comestibles en la subfamilia de Musoidea, en el género Musa en las siguientes especies: Musa Sapientum, Musa Paradisiaca, Musa Cavendishii, Musa Fehi y Musa Acuminata (Reynolds, 1972). El género Musa tiene una morfología semejante entre ellos, el tallo, o tronco verdadero es corto y se encuentra soterrado por lo que se le llama rizoma o bulbo. De este bulbo salen ramificaciones laterales formando los retoños. El meristema terminal del tallo produce hojas que poseen una parte basal bien desarrollada llamada vaina foliar del cual salen hojas distribuidas en forma helicoidal, este conjunto frecuentemente recibe "tronco" de plátano, pero es un tranco falso o bien llamado pseudotronco. Dependiendo de diversas condiciones y la variedad de la planta, la altura puede ser hasta de 2 a 5 metro y con hojas hasta 8 metros; este es cilíndrico, recto y rígido. Las vainas o pseudotroncos se desecan a los pocos meses de existencia. La inflorescencia (racimo) es terminal y crece a través del centro del pseudotallo hasta alcanzar la parte más apical. La fruta se forma a partir de las flores femeninas (Roseboom, Oñoro, & Waai, 1990)

1. Sistema foliar (Pseudotallo). El pseudotallo o conjunto de vainas son alargadas, rectas con bordes rectilíneos, sin tomar en cuenta las extremidades, en el corte transversal se presentan en forma decreciente con bordes extremadamente finos, con una parte central más compacta (23 cm). Las epidermis de sus dos caras son lisas y pulidas, y la cara convexa de las vainas más exteriores adquieren una pigmentación variables según los clones. La estructura lagunar o alvéolos son huecos o vacíos dispuestos en filas continuas y contienen haces conductores liberoleñosos y largos haces de fibras. Las separaciones transversales son más irregulares y poseen haces de menos importancia que se anastoman a los haces longitudinales. Los alvéolos están llenos de aire y la disposición de esta estructura origina buena rigidez de cada vaina cuyo perfil en forma creciente aumenta la resistencia. El pseudotallo es muy carnoso y está principalmente formado por agua. (Véniza & Baena, 2016) La función es brindar soporte y la capacidad de almacenar reservas amiláceas (almidones) e hídricas. Las dimensiones de las vainas son muy variadas, dependiendo de la edad y de la especie. La anchura de las láminas varía de 70 a 100 cm y los largos de 200 a 400 cm. (Cortéz, 1994). El pinzote posee la siguiente composición: 6.4 % de materia seca; 3.4% de proteína cruda, 31.4 % de fibra cruda, 34.6% de

celulosa, 15.5% de hemicelulosa y 6% de lignina (Mohapatra, 2010).

## B. Cultivo de banano

A nivel mundial en la última década, el cultivo de banano ha crecido rápidamente a un porcentaje anual de 5%. Guatemala es uno de los mayores cultivadores de banano en el mundo, actualmente se localiza en el octavo puesto de cultivador mayor. En Guatemala el crecimiento anual en la última década ha sido de 7% por lo que el crecimiento de banano es más rápido que el crecimiento a nivel mundial (CACIF, 2011). Hoy en día, el banano representa más del 1% del producto interno bruto (PIB) en nuestro país, lo que lo coloca como el tercer producto de exportación el cual aporta el 7% de divisas y genera más de 28,800 empleos de los cuales el 18% es desempeñado por mujeres. La estructura de la industria en Guatemala se representa por 12 empresas nacionales que producen el 85% y 3 empresas internacionales que producen el 15% (CACIF, 2011). La asociación de productores independientes de banano, APIB, cultivan 26,000 hectáreas en el territorio nacional que representan el 78% de la producción en el país. La asociación cuenta con más de 90 unidades productivas que promueven el cultivo del banano en condiciones agronómicas, laborales, ambientales y de responsabilidad social de orden mundial (APIB, 2012)

### 1. Factores ambientales determinantes para la explotación del pinzote de banano

a. Temperatura: Las temperaturas óptimas para el cultivo comercial oscilan entre 20 °C – 32 °C temperaturas menores a 20 °C retardan el desarrollo fisiológico de la planta a consecuencia el pseudotallo pierde turgencia y el crecimiento es lento. (Dávila, 1983)

b. Agua: La planta requiere abundante agua debido a las características suculentas del pseudotallo y su gran área foliar, aproximadamente el 87.5% del peso de la planta está constituido por agua. por lo que se debe cultivar en regiones con precipitación pluvial de 1800-3000 mm distribuidos uniformemente durante el año. Puede cultivarse en clima tropical bajo condiciones de riego. (Dávila, 1983) Dependiendo de las condiciones de riego y distintos niveles de contenido de químicos como Nitrógeno y potasio el perímetro del pseudotallo puede variar de 56 a 80 cm, así como las malezas tienen influencia en el desempeño agronómico. (Badgujar, Dusane, & Deshmukh, 2003)

c. Vientos: Debido a las hojas laminares que constituye el pseudotronco, esta planta es muy susceptible a los efectos del viento, ya que se rompen con facilidad por tener nerviaciones paralelas. Vientos mayores a 30km/h ocasionan pérdidas de frutos por el doblamiento del pseudotallo y desraizamiento de las plantas. (Dávila, 1983)

## C. Estructura vegetal

Está compuesta por tres tipos básicos de tejidos (Taiz & Zeiger, 2006):

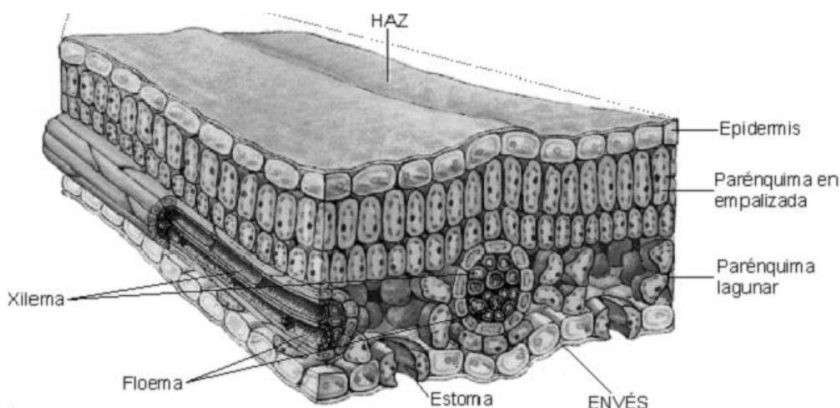
- Tejido fundamental constituido por las células parenquimáticas (las más abundantes), colenquimáticas y esclerenquimáticas
- Tejido epidérmico el cual cubre las superficies exteriores de las plantas herbáceas.
- Tejido vascular compuesto por dos tejidos conductores llamados xilema y floema, encargados de transportar nutrientes, agua, hormonas y minerales dentro de la planta. Es un tejido complejo e incluye células del xilema, floema, parénquima y esclerenquima

1. Parénquima formado por células vivas y de poca especialización, cumple funciones de acuerdo la posición que ocupan en la planta; el parénquima acuífero es propio de las plantas carnosas cuyo mucílago permite la retención de grandes cantidades de agua.

2. Esclerenquima son células muerta caracterizadas por presentar paredes secundarias gruesas y sirven para dar soporte a la planta, puede clasificarse en dos tipos: fibras (largas) y esclereidas (cortas).

3. Xilema: tejido formado por diversos tipos de célula. Tiene la función de conducir agua y minerales desde la raíz hasta las hojas. Uno de los componentes del xilema son las células conductoras, elementos de almacenamiento y de sostén. Las primeras se caracterizan por ser células muertas y conducen de forma vertical y a la vez brindan sostén. Tienen paredes gruesas impregnadas con lignina. (Taiz & Zeiger, 2006)

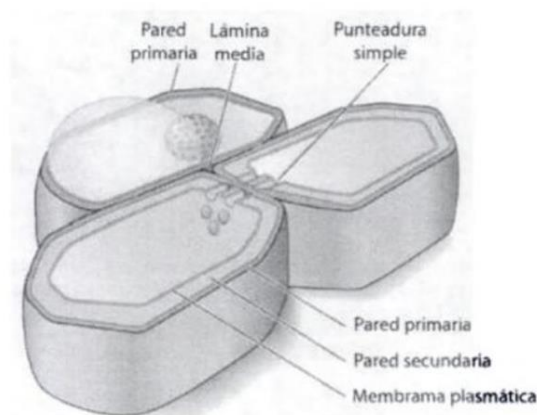
Ilustración 1 Corte transversal del tejido vegetal



(Taiz & Zeiger, 2006)

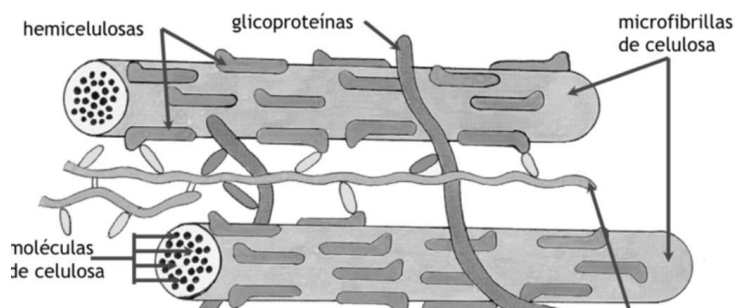
Pared celular es una subestructura que brinda protección a la célula de daños físicos, químicos y mecánicos. Presentan dos tipos de paredes: primarias y secundarias. Las cuales consisten de hemicelulosa, celulosa, y la secundaria presenta además lignina; las dos paredes también presenta proteínas estructurales y puentes de calcio para reforzar la estructura. En su conjunto forman una red de microfibrilla (Grajales, 2005).

Ilustración 2: Estructura de la pared celular vegetal.



(Grajales, 2005)

Ilustración 3: Conjunto de microfibrillas vegetales



(Grajales, 2005)

## D. Fibras

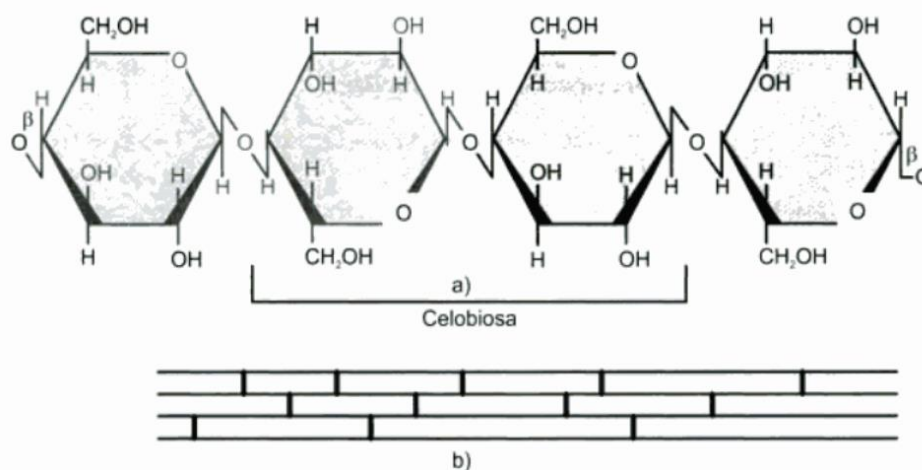
Denominada así a los constituyentes de la pared de la célula vegetal resistentes a las enzimas del tracto digestivo humano, es decir engloba a los componentes de celulosa, hemicelulosa y lignina. (Gil, 2010) Las fibras vegetales presentan alta resistencia mecánica, baja densidad y notable resistencia de abrasión. Se le denomina holocelulosa al conjunto de celulosa, hemicelulosa y pectinas lo cuales son hidratos de carbono. (Castells, 2012).

La celulosa no es un material fácilmente accesible ya que se encuentra unido a la lignina y hemicelulosa. La celulosa está en las paredes de las células vegetales. Existen dos tipos de células: células que no lignifican y células que lignifican. Las células que no lignifican poseen una pared celular pectocelulósica (contiene sustancias péctidas) las cuales se degradan con más facilidad. Las células que lignifican tienen una pared celular de mayor complejidad y accesibilidad. El material lignocelulósico está compuesto por tejidos vegetales cuya pared vegetal tiene un entramado de microfibrillas de celulosa formando capas recubiertas de hemicelulosa y sobre las que se encuentra la lignina (Barroso, 2013) Este tipo de estructura permite sostener a la planta y tener estructuras aéreas para poder captar mayor radiación solar por lo que las células lignificadas dan a sus tallos mayor resistencia mecánica. Para poder aprovechar la celulosa se requieren métodos de pretratamiento complejos, con bajos rendimientos y los métodos no son capaces de aislar completamente cada componente sin degradarlo. Para poder entender de mejor manera el material lignocelulósico se deben conocer sus componentes mayoritarios los cuales son los que forman la pared celular. Los componentes de los materiales lignocelulósicos se dividen en componentes estructurales y primarios. (Barroso, 2013)

Los componentes estructurales están formados por tres polímeros: celulosa, hemicelulosa y lignina. Los componentes secundarios son de menor proporción que los primarios y son de dos tipos: extractos y cenizas. Los extractos son materiales de bajo peso molecular y son hidrosolubles. Las cenizas son materiales minerales. A continuación se describen con mayor profundidad los términos antes mencionados (Barroso, 2013).

1. **Celulosa.** Sustancia de sostén, componente principal de las paredes celulares de la planta. Las fibras vegetales como algodón, yute y lino son prácticamente celulosa pura. Es una sustancia incolora, insoluble en agua y en la mayor parte de los disolventes orgánicos con una fórmula molecular:  $C_6H_{10}O_5$ . (Beyer & Walter, 1987) Es el carbohidrato más abundante en la naturaleza; es un polímero lineal de glucosas unidas por enlaces  $\beta$  1-4; la configuración  $\beta$  da lugar a una rotación de 180 grados en las unidades alternas de glucosa lo que produce la estructura rígida y recta que favorece la organización de las microfibrillas individuales dentro de un haz, unidades de hidrógeno, y consecuentemente se da una estructura fibrosa insoluble en agua y soluble en ácidos y bases fuertes y disoluciones de sales concentradas. Una molécula de celulosa contiene de 200 a 16000 moléculas de glucosa. (Pabón, 2004)

Ilustración 4: Moléculas de celulosa



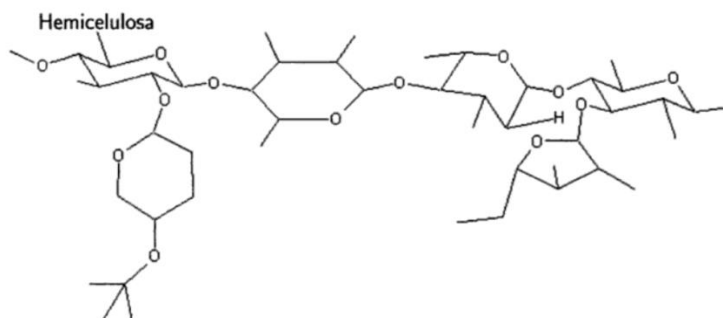
(Pabón, 2004)

En la figura a) se muestra la estructura de la celulosa en forma de cadena en donde D glucosa está unida mediante enlaces  $\beta$ . (1 $\rightarrow$ 4), en la figura b) se ejemplifican los enlaces transversales de hidrógeno como líneas verticales gruesas haciendo que la cadena de celulosa paralelas se mantengan reunidas. (Melo & Cumatzi, 2007)

La capacidad para formar puentes de hidrógeno entre cadenas es elevada debido a la que se tienen tres grupos OH para poder participar, lo cual brinda un alto grado de firmeza a la fibra. En las paredes celular las fibras de celulosa están densamente empaquetadas dando capas reforzadas debido a la presencia de hemicelulosa y lignina. Los enlaces  $\beta$  (1 $\rightarrow$ 4) son altamente resistentes a la hidrólisis ácida por lo que se necesita un ácido mineral fuerte para poder producir D-glucosa. Si se realiza una hidrólisis parcial se llegaría obtener el disacárido reductor celobiosa mostrado en la figura a). (Melo & Cumatzi, 2007)

**2. Hemicelulosa.** Se encuentra en la pared celular y es un polímero heterogéneo corto ramificado de varios monosacáridos de cinco y seis carbonos, el grado de polimerización es de 150 a 200 unidades y es casi completamente amorfa y bajo grado de cristalinidad. La fuerza mecánica de la pared celular depende de los enlaces cruzados de las microfibrillas con las cadenas de hemicelulosa. (Beyer & Walter, 1987) Además de la xilosa hay otros carbohidratos que conforman la hemicelulosa como la manosa, la galactosa, la glucosa, la arabinosa y el ácido glucurónico. La hemicelulosa de hojas y tallos de los pastos y leguminosas parece ser principalmente arabinoxilano con enlaces al ácido glucurónico y la lignina a través de enlaces ester para formar glucuronidos. (Pabón, 2004)

Ilustración 5: Estructura de la hemicelulosa



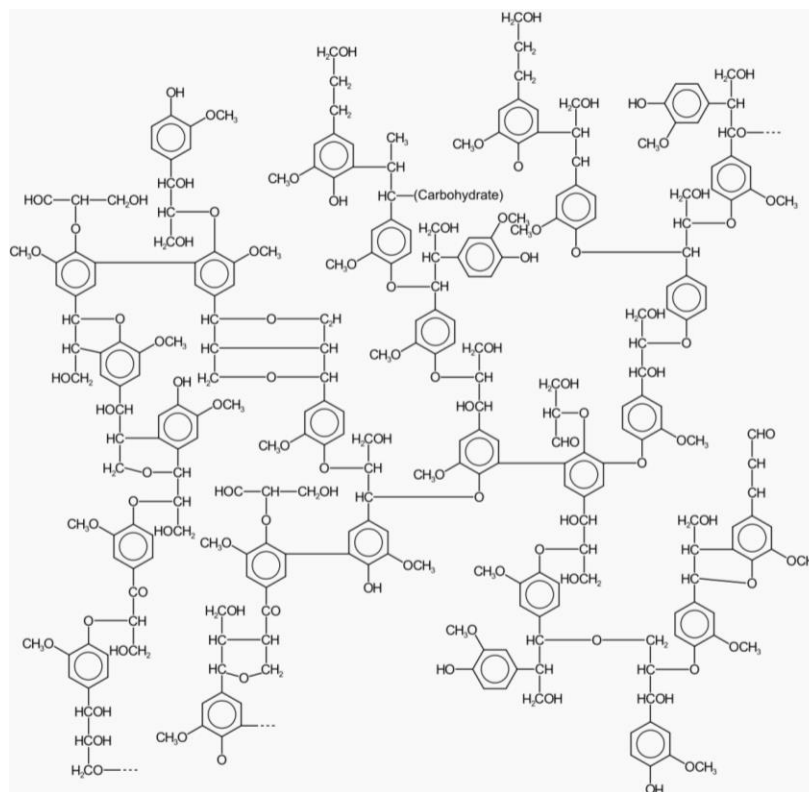
(Pabón, 2004)

**3. La lignina.** Polímero vegetal estructural polifenol de alto peso molecular, sus características varían dependiendo de las especies; es un polímero amorfo, hidrofóbico, formado por diferentes proporciones de unidades monoméricas por lo que es una mezcla de estas. Fenoles y ácidos fenólicos se unen en un sistema complejo de enlaces entrecruzados. Forma enlaces covalentes con los carbohidratos, éteres (OH del carbohidrato y OH del fenol) y ésteres (COOH de la hemicelulosa y OH del fenol). (Pabón, 2004) Está intrínsecamente asociada a la celulosa y a la hemicelulosa añadiendo fuerza estructural y protegiendo a los polisacáridos con una barrera resistente a la degradación. (Castillo, y otros, 2005) Se sabe muy poco de la estructura química, es compleja, que solamente puede ser definida por la frecuencia con que aparecen determinadas uniones. Se encuentra unida de forma covalente a la celulosa y otros polisacáridos de la pared celular. Ésta se disuelve en hidróxido de sodio concentrada y se degrada con H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> alcalina, por lo que la celulosa se vuelve más digerible; Son relativamente estables en medios ácidos minerales acuosos. (Primo, 2007)

**4. Extractos.** Se puede clasificar en terpenos los cuales son polímeros de isopreno; resinas las cuales son compuestos no volátiles como grasas, ácidos grasos, alcoholes, resinas acidas, fitoesteroides y compuestos neutros y fenoles lo cuales son polifenoles derivados de ácido gálico. (Chávez-Sifontez, 2013)

**5. Cenizas.** Son carbonatos y oxalatos también se puede encontrar sílice dependiendo del tipo de célula vegetal. (Chávez-Sifontez, 2013)

Ilustración 6: Estructura de la lignina.



(Glab, 2016)

## E. Tejidos vegetales

El tejido vegetal forma los órganos los cuales son la base de los materiales lignocelulósicos, esto se basa en su mayoría en los tallos. Los tejidos fundamentales son los siguientes (Barroso, 2010):

1. **Parénquima.** Son células isodiamétricas, paredes delgadas y pectocelulósicas. Estas células tienen el protoplasto con una o varias vacuolas y mitocondrias. Tiene las siguientes funciones: sintetizan, fotosintéticas, meristemáticas, estructurales, almacenamiento de sustancia de reserva de almidón, transporte y limítrofes (epidermis) (Barroso, 2013)

2. **Colénquima.** Aporta sostén a los órganos jóvenes y sus células presentan pectocelulósicas y protoplasma. Es tejido mecánico y de formación rápida (Barroso, 2013)

3. **Esclerénquima.** Es tejido mecánico que da resistencia a esfuerzos de tracción y compresión del vegetal. Está presente en tallos y en hojas. Estas células tienen paredes secundarias lignocelulósicas que detienen la elongación de las células en sus primeros momentos de la lignificación. Hay de dos tipos: esclereidas y fibras. Las esclereidas son células más

isodiamétricas pero lignificadas y sin protoplasto. Las fibras son células más largas entre 1.0-10.0  $\mu\text{m}$  y están asociadas a tejidos conductores; las fibras libriformes y las fibrotraqueidas (Barroso, 2013)

En los tejidos complejos se encuentran las células de tipo esclerenquimático; estos son los formados por diferentes tipos de células como el xilema, floema y recubrimientos. Los tejidos conductores tienen una gran cantidad de material lignocelulósico los cuales son:

4. **Xilema.** Aquí están presentes células de paredes pectocelulósicas, las células parénquima con funciones de reserva, células de contacto que intervienen en la conducción y las más abundantes son las células esclerenquimáticas con paredes secundarias lignificadas (Barroso, 2013)

5. **Floema.** Están presentes en las paredes pectocelulósicas de las células conductoras y de las parenquimáticas que no lignifican. Las paredes lignificadas se encuentran en las fibras que forman un tejido mecánico a modo de vaina que protege a los elementos cribosos de la turgencia de células vecinas (Barroso, 2013)

## F. Caracterización

En la investigación se refiere a una fase descriptiva con fines de identificación, entre otros aspectos, de los componentes, procesos y contexto de una experiencia, un hecho o un proceso. (Sanchez, 2010) Es un tipo de descripción cualitativa que puede recurrir a datos o a lo cuantitativo con el fin de profundizar el conocimiento sobre algo. Para cualificar ese algo previamente se deben identificar y organizar los datos; y a partir de ellos, describir (caracterizar) de una forma estructurada; y posteriormente, establecer su significado (sistematizar de forma crítica) (Bonilla, Prieto, & Jaramillo, 2009).

## G. Absorción

La absorción está ligada a la velocidad de absorción y la cantidad de líquido que el material puede contener sin derramarse. La capacidad de absorción de un material depende de las propiedades del material, tamaño de partícula, su composición y estructura. La fibra de banano se caracteriza por tener una alta capacidad de absorción. Para determinar generalmente la capacidad de absorción de diversos materiales se evalúa el peso del material con líquido absorbido en comparación al material seco. (Gupta, 2014)

A diferencia de hace unos años, la absorción de una toalla femenina no es ya el único valor que las mujeres exigen de este producto. En los últimos años las presentaciones que existen en el mercado han incorporado nuevas características para dar mayor seguridad a las mujeres. Además de mejorar la absorción, las innovaciones se han orientado a cubrir otras necesidades como discreción, comodidad e incluso cuidado de la piel, para lo cual se desarrollaron toallas con alas o sin ellas, completamente rectas o anatómicas, para flujo ligero, normal o abundante; de malla plástica o tipo tela, con adhesivos o adicionadas con aloe vera (sábila) y/o manzanilla que, según se afirma, brindan mayor protección a la piel (PROFECO, 2006)

Tales innovaciones y su efecto real sobre la efectividad de las toallas se resalta en las etiquetas de las diversas marcas, con frecuencia de forma engañosa o por lo menos exagerada. Para informar sobre la calidad de estos productos, el Laboratorio Nacional de Protección al Consumidor de México realizó un estudio, en el cual evalúan el desempeño de setenta y seis marcas de toallas sanitarias. Este desempeño varío según su diseño y materiales de elaboración. El estudio estableció que para flujo regular y ligero se calificara como “excelente” las toallas que absorbieron más de 35 ml, “buena” las que absorbieron entre 35 y 20 ml y “regular” las que absorbieron entre 20 y 5 ml. También se determinó el tiempo de absorción de cada toalla sanitaria, así como su adhesividad y dimensiones (PROFECO, 2006)

Cuadro 1. Norma COGUANOR NGO 46 031- Parámetros de absorción de las toallas sanitarias comerciales, en base a sus dimensiones:

Características	Requisitos
Capacidad mínima de absorción para la toalla sanitaria normal, en centímetros cúbicos.	35
Capacidad mínima de absorción para la toalla sanitaria "mini", en centímetros cúbicos.	14
Capacidad mínima de absorción para la toalla sanitaria de uso nocturno, en centímetros cúbicos.	40

(Normas, 1986)

1. Método para la determinación de velocidad de absorción. Velocidad de absorción es el tiempo requerido para que se difunda el líquido a través del espesor de una toalla sanitaria. El método se basa en la medición del tiempo necesario para que se difunda agua a través del espesor de una toalla sanitaria. Estas se deben de dejar acondicionar al aire, hasta que estas alcancen el equilibrio con el medio ambiente y su peso no varié más de 0.25% al ser pesadas. Cada toalla sanitaria se corta en pedazos de 42 cm<sup>2</sup>. Cada espécimen se coloca suavemente con pinzas sobre un baño de agua a 30 °C, se empieza a tomar el tiempo con un cronómetro. Cuando la muestra se moje completamente se detiene el cronómetro y se re registra la lectura. Se realiza el mismo procedimiento para los demás especímenes y toallas sanitarias (Normas, 1986)

Cuadro 2. Norma COGUANOR NGO 46 031- Parámetro de velocidad de absorción máxima

Característica	Requisito
Velocidad máxima de absorción, en segundos.	10

(Normas, 1986)

2. Método para la determinación del factor de capacidad de absorción . El factor de capacidad de absorción se representa con la masa de líquido capaz de ser absorbida por unidad de masa de material absorbente, para su determinación se realiza la siguiente prueba:

Para calcular el factor de capacidad de absorción se utiliza la siguiente fórmula:

Ecuación 1 Factor de capacidad de absorción

$$\frac{FCA}{g \text{ muestra}} = \frac{\text{masa espécimen mojado} - \text{masa espécimen seco}}{\text{masa espécimen seco}}$$

Cuadro 3. Norma COGUANOR NGO 46 031- Factor de capacidad de absorción.

Característica	Requisito
Factor de capacidad de absorción mínimo, en gramos de agua absorbida por gramo de material de relleno.	12

## H. Contenido de humedad

El contenido de humedad es el agua total que contiene una muestra, El agua presente contribuye a las propiedades reológicas, de textura y las interacciones con los diferentes componentes determina el tipo de reacciones químicas que se pueden presentar en la muestra. (Herrera, Bolaños, & Lutz, 2003) Para determinar este parámetro se puede utilizar analizadores de humedad automática, que evitan la manipulación errónea de las muestras, el equipo registra automáticamente el peso de la muestra, inmediatamente y sin intervención se da un calentamiento regulado dando inicio al proceso de desecación paralelamente el equipo determinar el peso de la muestra hasta que este se permanezca constante indicando que el agua presente ha sido eliminada. (Clavijo, 2002) El analizador de humedad efectúa las mediciones de acuerdo con el principio termogravimétrico, existen otros métodos que pueden ser por valoración. Independientemente del método de medición utilizado, la calidad de la medida dependerá de la preparación de la muestra y de la correcta elección de los principales parámetros de la medición:

- Tamaño de la muestra
- Tipo de muestra
- Temperatura de desecación
- Tiempo de desecación

La velocidad de desecación puede aumentarse utilizando las condiciones óptimas de temperatura. La temperatura y el tiempo de desecación óptimos dependerán de la naturaleza y del tamaño de la muestra, así como de la precisión deseada para los resultados de la medición. Estos valores óptimos sólo pueden determinarse mediante experimentación (Ohaus, 2011).

## I. Desperdicio biodegradable

Cualquier desperdicio que pueda ser degradado de forma biológica, la mayoría de desperdicio biodegradables está hecho de productos animales o vegetales, los cuales pueden ser destruidos de forma natural por bacteria encontrada en la mayoría de suelos. El compost es la forma más eficiente de lidiar con desechos biodegradables (Lapierre, 2009)

1. Factores que afectan la biodegradación. La biodegradación de los materiales depende de la química de polímeros y el medio ambiente en el que están expuestos. La medición de la cantidad de material que se degrada no es únicamente la condición a medir, debe considerarse también algunos otros factores que están influyendo en el medio ambiente y el material. Algunos de los factores importantes que influyen directamente en la velocidad de biodegradación son los siguientes:

- La presencia de microorganismos
- La disponibilidad de oxígeno
- La cantidad de agua disponible
- Temperatura
- Contaminación química (pH, electrolitos, etc.)(Arshad & Muhammad, 2011)

Para que un material se biodegradable, se requiere una fuente biodestructora, los microorganismos están presentes en el suelo y en la atmósfera; el suelo es muy rico en microorganismos a una profundidad de 5 a 15 cm es la capa más saturada con microorganismos, en el cual un gramo de suelo contiene hasta 108 microorganismos (Arshad & Muhammad, 2011)

## J. Productos higiénicos desechables y prácticas de manejo integral de residuos

Existen dos tipos de productos de sanitarios femeninos desechables, siendo estos toallas sanitarias y tampones. En promedio el periodo menstrual está conformado por 5 días, una mujer en promedio utiliza tres toallas normales y una toalla nocturna por días, sumando así quince toallas normales y cinco toallas nocturnas al mes. Si cada mujer tuviera un flujo normal, usaría aproximadamente 10,000 toallas higiénicas a lo largo de toda su vida (Smith, 1994)

Más de un billón de productos sanitarios femeninos son usados únicamente en el Reino Unido, de los cuales el 56% son tallas sanitarias y 44% tampones. El peso total de los desechos obtenidos de toallas sanitarias es de 19,000 toneladas por año, de las cuales 14,000 toneladas se desechan en drenajes y 5,000 son colectadas en la basura doméstica. El peso promedio de tampones que se desechan es de 4,000 toneladas, de las cuales el 96% son desechadas en los drenajes. Aunque estos productos conforman una pequeña parte de la proporción total de la basura doméstica, generan un alto impacto de contaminación visual y ambiental, ya que muchos de ellos llegan al mar mediante los drenajes (Smith, 1994)

Es importante tomar en cuenta que estos productos no son degradables en nuestro medio ambiente, debido a las capas de polímeros plásticos que los recubren, así como de los polímeros

superabsorbente que se encuentran dentro de ellos (Smith, 1994) Sin un sistema adecuado de gestión de residuos, como a menudo es el caso en los países en desarrollo, el desecho de productos sanitarios puede convertirse en un problema ambiental a largo plazo (Garmendia, 2012)

Los productos higiénicos desechables son casi compatibles con las opciones de manejo de residuos siguientes: rellenos sanitarios e incineración. En la actualidad, los productos higiénicos desechables son aceptados como parte del material normal que es procesado en los incineradores de residuos municipales. Son compatibles con la incineración con recuperación de energía, ya que tienen un poder calorífico alto. Además, los materiales en estos productos no afectan de manera negativa alguna la operación de los incineradores, en comparación con el resto de los residuos sólidos municipales. Asimismo, son compatibles con la operación de los incineradores, de acuerdo a las regulaciones operacionales y de emisiones más estrictas (Garmendia, 2012)

Se ha evaluado la posibilidad de reciclar las toallas sanitarias. La idea básica es recolectar separadamente estos productos, separar sus diferentes componentes: pulpa, material superabsorbente y plásticos, y reciclarlos. Se ha encontrado que técnicamente es posible cierto tipo de reciclaje. La principal limitación es el alto costo económico de la recolección y manejo de estos productos, ya que constituyen un porcentaje muy bajo de los residuos sólidos municipales. También se han realizado varios proyectos para evaluar la posibilidad de procesar los residuos de productos higiénicos desechables mediante el compostaje. Se ha encontrado que los procesos industriales usados para fabricar compost a partir de residuos orgánicos comunes, aceptan también estos productos. Una vez más, el punto clave son los costos (Garmendia, 2012)

## K. Análisis microbiológico

La determinación del análisis microbiológico para una toalla sanitaria se efectúa según la norma COGUANOR NGO 46 032 h3. Esta norma tiene como objetivo establecer los métodos para la detección de enterobacterias y para el recuento total de microorganismo mesofílico a 35 °C en toallas sanitarias (Normas, 1986)

Cuadro 4. Norma COGUANOR NGO 46 031- Requisitos microbiológicos para las toallas sanitarias.

Microorganismo	Recuento máximo permitido
Bacterias por gramo	1,000

El criterio microbiológico define la aceptabilidad de un producto basada en la ausencia o presencia o en la cantidad de microorganismos.

1. **Bacteria.** Organismo unicelular capaz de reproducirse por sí mismo por meiosis y cuya velocidad de crecimiento depende de las condiciones en que se encuentren: Temperatura, acidez, oxígeno y nutrientes. En la clasificación de bacterias se encuentra:

- Mesófilos aerobios: Conocido también como “cuenta total bacteriana”; Son los microorganismos que crecen en temperaturas de 20 a 45 C y requiere de oxígeno. (Bravo, 2004)
- Enterobacterias: Son bacilos Gram negativos, anaerobios facultativos que fermentan glucosa; citocromo oxidasa negativos; reducen los nitratos a nitritos. Son llamadas entero bacterias pues se les encuentra con frecuencia en el aparato digestivo de animales y humanos; algunas especies viven en el agua. Entre los géneros que abarca se encuentran la Shigella, Salmonella, y Yersenia quienes son causantes de infecciones gastrointestinales. Cuando estas se introducen en un sitio del cuerpo estéril producen enfermedades como neumonía, infecciones vías urinarias, septicemia, infecciones neonatales infecciones de herdias y cirugías (Olivas, 2004).

2. **Hongos.** Son organismos eucariontes, unicelulares o pluricelulares, no contienen clorofila ni sintetizan macromoléculas a partir del CO<sub>2</sub> ni de la luz. El cuerpo de los hongos se denomina talo ya sea unicelular o pluricelular (Olivas, 2004). Su crecimiento depende mucho de la cantidad de humedad presente de la muestra o del lugar donde se almacena. Producen micotoxinas (veneno propio de los hongos) cuyo daño puede ser a largo plazo (Bravo, 2004).

## L. Vida de anaquel

Para comprobar inocuidad que presenta un producto y determinar el tiempo de vida útil se realizan pruebas de tiempo acelerado, se define como el periodo en que mantiene sus características sensoriales y de seguridad aceptables para el consumidor, almacenado bajo condiciones óptimas preestablecidas (Anzueto, 2012).

“El tiempo durante el cual las características y desempeño del producto se mantienen como fueron proyectados por el fabricante. El producto es consumible o usable durante este periodo, brindándole al usuario final las características, desempeño seguridad y beneficios sensoriales esperados” Según Norma E2454, 2005 (Torres, 2016).

## M. Determinación de pH

El pH es el potencial de hidrógeno o bien concentración de protones. Y se utiliza para determinar el grado de acidez. A pH 7 las concentraciones de iones  $H^+$  y  $OH^-$  son iguales, por lo que se le dice que se obtiene un pH neutro. El pH por debajo de 7 es ácido y cualquiera por encima del 7 es básico, por lo que se obtiene mayor concentración de iones hidrógeno a un pH menor. (Peter, 1992) La determinación de pH para una toalla sanitaria se efectúa según la norma COGUANOR NGO 46 032 h1. Se prepara una suspensión de la muestra en agua destilada, a temperatura ambiente, y se deja reposar durante un tiempo determinado. Luego se decanta el líquido sobrenadante y se mide su pH con un potenciómetro (Normas, 1986). El rango de pH permisivo para una toalla comercial de acuerdo a la norma es de 5.00- 7.00

## N. Densidad

Es una propiedad física de la materia que se puede utilizar para caracterizar una sustancia pura, la masa se emplea para poder determinar cuánta sustancia existe, por lo que la densidad se define como la masa dividido volumen. Se puede expresar en unidades  $g \cdot mL^{-1}$  o  $kg \cdot L^{-1}$ . (ASTM, 2007) .Según la forma de determinar la densidad se puede clasificar en:

1. Densidad sustancia. Cuando se realizan las mediciones una vez que el material se ha pulverizado con el fin de eliminar los poros en su interior.
2. Densidad de partícula. Cuando la muestra no ha sido modificada estructuralmente, incluye el volumen de los poros cerrados y excluye lo que están conectados externamente.
3. Densidad aparente. Densidad que incluye el volumen de todos los poros de la muestra.
4. Densidad a granel. Cuando el material está empacado a granel. (Orrego, 2003)

Una medición similar a la densidad es la densidad relativa la cual se conoce también como peso específico, es equivalente a la densidad de una sustancia dividida la densidad del líquido de referencia. La densidad relativa de una sustancia se obtiene midiendo el peso de un determinado volumen de dicha sustancia y dividiéndolo por el peso del mismo volumen de la sustancia patrón. (Palmer, 2003)

## O. Contenido de cenizas

Las cenizas de una muestra representa la fracción correspondiente a los minerales en la muestra. Se determina mediante la incineración de una muestra previamente pesada, en una mufla u horno a 550 °C. Toda la materia orgánica se incinera y sólo quedarán los compuestos inorgánicos. A esta temperatura de operación se da una pérdida de ciertos minerales como el Ca, P y la volatilización de otros como sodio, potasio y cloro. La fracción remanente se denomina cenizas. (Caravaca, 2005). En los tejidos de las plantas la concentración de cenizas depende de la especie vegetal y de las prácticas agronómicas (Cuadrado, 2004).

Generalmente el contenido de cenizas de biomasa herbácea es mayor al de la biomasa leñosa. La biomasa leñosa presenta porcentajes de ceniza en base seca menores al 2%, mientras que las herbáceas varían de 2, 8-10% e incluso 25% para la cáscara de arroz. El contenido de ceniza depende en mayor parte del tipo de planta y condiciones de cultivo, así como por ejemplo la absorción de silicio y otros elementos inorgánicos en la planta está directamente relacionado con la absorción del agua. El uso de fertilizantes afecta además en elementos como el potasio, cloro y fósforo. Las condiciones del suelo tiene un papel importante ya que el nivel de elementos inorgánicos solubles es importante. El contenido de cenizas y la composición varían también de la parte de la planta que se analiza, generalmente las hojas presentan mayor contenido de cenizas que los tallos (Karampinis & Grammelis, 2012).

Dependiendo del contenido de cenizas de la materia prima para la producción de pulpa, es el tipo de papel que se puede obtener en diferentes calidades, así como por ejemplo el pañuelo de papel es sensible a alta cantidades de cenizas en la pulpa, por lo general los pañuelos de papel están producidos a base de una pulpa con contenido de ceniza menor al 5%. (Ek, Goran, & Gunnar, 2009). Por otra parte el contenido de cenizas no define directamente la utilidad al cual será destinado el papel final, pero sí se utiliza como un punto de control de adición de rellenos en límites especificados. En el molino de papel es un medio de control de la medida en la que se retiene la carga mineral. El uso de mucho mineral de relleno afecta la resistencia del papel. En la mayoría de papeles hechos 100 % de algodón presentan especificaciones de contenido de cenizas menor 2 % (ASTM., 1982).

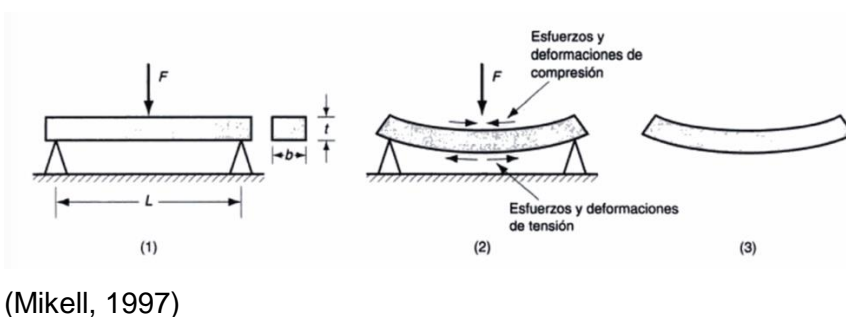
## P. Pruebas mecánicas

Las propiedades mecánicas de los materiales determinan su comportamiento cuando se les sujeta a esfuerzos mecánicos. Estas propiedades son importantes en el diseño porque el funcionamiento y desempeño de los productos dependen de su capacidad para resistir deformaciones bajo esfuerzos que enfrentan en el servicio.

1. **Módulo de Young.** Se le conoce como el módulo de elasticidad para una tensión o compresión. Las unidades en el sistema Internacional son newton sobre metro cuadrado [N/m<sup>2</sup>] (Wilson & Buffa, 2003).

2. **Ensayos de flexión.** Acción que somete al material a esfuerzo de tensión y deformación en la mitad externa de la sección doblada. Y a esfuerzos de compresión y deformación en la mitad interna; si el material no se fractura quedará permanentemente doblado como se muestra en la Ilustración 7 (Mikell, 1997).

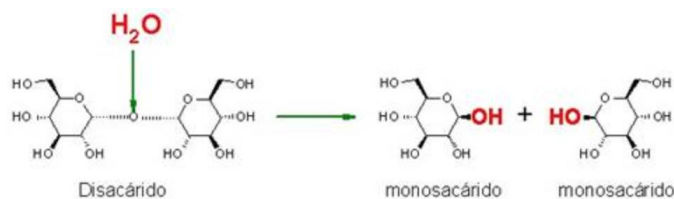
Ilustración 7: Ensayo de flexión de una sección transversal rectangular



## Q. Hidrólisis

Proceso en donde se transforman moléculas de gran tamaño en productos más sencillos y fácilmente degradables (Villaseñor, 1998). Los disacáridos y polisacáridos deben ser hidrolizados hasta monosacáridos. La hidrólisis de un enlace glucosídico se lleva a cabo mediante la disociación de una molécula de agua del medio. El hidrógeno del agua se une al oxígeno del extremo de una de las moléculas de azúcar; el OH se une con el carbono libre del otro residuo del azúcar. Lo cual da como resultado la liberación de un monosacárido y el resto de la molécula que puede ser monosacárido o polisacárido, dependiendo del punto de partida: compuesto disacárido o una cadena más compleja. Esta puede realizarse en medio ácido o medio básico (Vásquez, 2003).

Ilustración 8: representación del proceso de hidrólisis de un compuesto disacárido.



(Vásquez, 2003)

1. **Hidrólisis hemicelulosa.** Casi todas las hemicelulosas son insolubles en agua, pero se pueden disolver en álcalis y son fácilmente hidrolizadas por ácido. Su estructura amorfa y bajo peso molecular le confiere mayor solubilidad y susceptibilidad a la hidrólisis que la celulosa. La fracción celulosa y hemicelulosa se puede separar en componente en función de sus solubilidades en hidróxido de sodio al 17.5 % según su grado de polimerización (Vian, 2006).

2. **Hidrólisis celulosa.** Debido a que son un compuesto muy resistente a la hidrólisis por sus características físicas, y más cuando está unida a lignina se requieren condiciones muy drásticas o enzimas específicas (celulasas). A nivel industrial para hidrolizar este compuesto se usan ácidos muy concentrados a temperaturas de 100 °C o ácidos diluidos a temperaturas de 120 °C y 179 °C a presión (Primo, 2007).

## R. Extracción de fibra de banano

En todas las variedades de banano es posible la extracción de fibra. La fibra proveniente del banano es un producto biodegradable que no posee efectos negativos hacia el medio ambiente por lo que se puede categorizar como una fibra eco-amigable (Krishi-Foundation, s.f.). La fibra se puede extraer del pinzote manualmente o con una máquina desfibradora. En este proceso el pinzote se corta en piezas manejables aproximadamente de 60 cm de longitud y 10 cm de ancho. Los pedazos se raspan con la ayuda de cuchillos y herramientas que ayuden a separar la fibra de los alveolos y haces conductores liberoleñosos. En proceso manual, una mano de obra especializada puede producir 500 a 600g de fibra seca en 8 horas de tiempo. Por otro lado, el proceso de extracción de fibra por una máquina desfibradora da una extracción mucho más rápida. (Krishi-Foundation, s.f.).

Después de extraída la fibra se puede utilizar para diferentes fines. De la fibra se puede obtener un hilo uniendo la fibra parte por parte y así crear productos en la industria textil, se puede crear una cuerda entrelazando hilos la cual puede ser útil para la construcción de artículo y se puede realizar papel si se le realiza una serie de tratamientos a la fibra. El consumo de papel a partir del banano reduce la deforestación ligada a la producción de papel, particularmente cuando la fibra en el mercado internacional es escasa (INFOMUSA, 1995). Debido a esto la fibra de banano ha tomado una gran importancia en la industria de papel por ser una materia prima alternativa (Krishi-Foundation, s.f.).

## S. Tratamiento de fibra y realización de bobinas

Para el tratamiento de la fibra se llevan a cabo diferentes métodos dependiendo de lo que se quiera aislar. La lignina puede ser aislada del material lignocelulósico por métodos químicos y mecánicos. Estos métodos se dividen en dos vías principales dependiendo de lo que se quiera obtener. El primer grupo son los métodos en los que se libera la celulosa y hemicelulosa mediante solubilización dejando a la lignina como un residuo insoluble. El otro método incluye la disolución de la lignina dejando como residuos insolubles la celulosa y hemicelulosa (Chávez-Sifontez, 2013). En este estudio se necesita aislar la celulosa debido a que se desea realizar un proceso de fabricación de pasta de celulosa, lo que se emplea en la industria papelera por lo que se basa en el estudio del método de disolución de lignina para obtener como resultado insoluble a la celulosa y hemicelulosa (Chávez-Sifontez, 2013).

Para poder obtener la pasta de celulosa y así poder crear bobinas se debe romper la pared celular y romper los enlaces entre la celulosa, lignina y hemicelulosa. Hay diferentes métodos para crear pasta los cuales se describen a continuación (Reddy, 2014).

1. **Mecánico.** En este tipo de tratamiento se requiere de fuerza por medio de cortes a la fibra para poder romper la pared celular y crear la pasta celulósica. La técnica que se escoja debe de considerar el origen del tejido para evaluar su facilidad o dificultad. Se utilizan piedras para moler o para mayor facilidad se puede utilizar una licuadora industrial. Se puede cocer al vapor antes de la molienda para poder facilitar la obtención de la pasta celulósica así como también el tratamiento de vapor reduce significativamente la energía total que se necesita para hacer la pasta y disminuye el corte a las fibras (Reddy, 2014).

2. **Químico.** Este tipo de tratamiento es cuando se utiliza un químico para poder descomponer la lignina, que une las fibras de celulosa juntas, sin degradar las mismas. Este tipo de tratamiento se utiliza cuando se necesita crear una bobina más fuerte y se puede combinar con tratamiento mecánico para dar características diferentes a la bobina. Hay tres tipos de lignina que corresponden a los tres procesos químicos descritos a continuación, estos procesos tienen el fin de crear una pasta de celulosa (Reddy, 2014).

a. **Proceso Kraft.** Este proceso es uno de los más predominantes en el mercado teniendo el 85% de producción mundial para la recuperación de lignina. El método Kraft es un proceso para obtener fibras de celulosa casi puras. La fibra se coloca con una mezcla de hidróxido de sodio y sulfuro de sodio, conocido como licor blanco, que rompe los enlaces de la lignina-

celulosa (Chávez-Sifontez, 2013). En este método se llevan a cabo los siguientes pasos (Reddy, 2014).

1) **Impregnación.** La fibra primero entra en la pre-cocción al vapor en la que se humedece y precalienta con vapor de agua. El siguiente paso consiste en impregnarle a la fibra el licor blanco (normalmente por debajo de 100 ° C), este está compuesto por una mezcla de hidróxido de sodio y sulfuro de sodio (Chávez-Sifontez, 2013). Los licores de cocción se componen de una mezcla de licor blanco, el agua en la fibra y el vapor condensado. En la impregnación, el licor de cocción penetra en la estructura capilar de la fibra y las reacciones químicas se llevan a cabo (Reddy, 2014). Las reacciones son varias entre las que se encuentran la ruptura de los enlaces entre la lignina y los carbohidratos, despolimerización de la lignina, reacción con iones de hidrosulfuro y recondensación. La despolimerización de la lignina por este método se produce principalmente a través de la ruptura de los enlaces  $\alpha$ - y  $\beta$ -aril éter (C-O), primero en las unidades fenólicas y después en las unidades no fenólicas. Estas reacciones generan fragmentos de grupos fenólicos solubles en el medio alcalino predominante (Chávez-Sifontez, 2013).

2) **Cocimiento.** La fibra se cose en digestores los cuales pueden operar por lote o continuos. Existen diversas variaciones de los procesos de cocción, tanto para los digestores continuos y por lote. En un digestor continuo los materiales son alimentados a una velocidad que permite que la reacción de fabricación de pasta celulósica sea completa en el momento en que los materiales salen del reactor. El rompimiento de la lignina requiere de varias horas a temperaturas de 130-180 ° C. En estas condiciones la lignina se degrada y da una pasta celulósica sólida. Después de este proceso se obtiene una pasta marrón (Chávez-Sifontez, 2013). Los líquidos combinados, conocido como licor negro, contienen fragmentos de lignina, los hidratos de carbono a partir de la descomposición de la celulosa, carbonato de sodio, sulfato de sodio y otras sales inorgánicas (Reddy, 2014).

3) **Proceso de recuperación.** El exceso de licor negro es alrededor de 15% de sólidos. Se lleva a cabo una reacción debido a que el sulfato de sodio se reduce a sulfuro de sodio por el carbono orgánico que posee la mezcla. Este líquido se mezcla con óxido de calcio, que se convierte en hidróxido de calcio en solución (Reddy, 2014).

4) **Lavado.** La pasta marrón se lava para que los licores de cocción utilizados se separen de las fibras de celulosa. Normalmente se realizan 3-5 etapas de lavado en serie (Reddy, 2014). La solubilidad de la lignina en agua disminuye con el descenso de pH. De esta manera se puede separar la lignina del licor negro. Cuando se reduce el pH se permite la

precipitación de la lignina y su recuperación con un contenido bajo de carbohidratos. Cuando se reduce el pH también se reduce el grado de ionización de las moléculas favoreciendo la auto-agregación (Chávez-Sifontez, 2013).

5) Blanqueamiento. Los productos químicos utilizados para blanquear la pasta celulósica han sido una fuente de preocupación ambiental y recientemente se ha utilizado alternativas al uso de cloro como dióxido de cloro, oxígeno, ozono y peróxido de hidrógeno. En el caso de una planta diseñada para producir pasta celulósica para hacer papel marrón o cartón, la pulpa no necesita ser blanqueada. El blanqueo disminuye la masa de pasta producida un 5% aproximadamente, disminuye la resistencia de las fibras y se añade al costo de fabricación (Reddy, 2014).

La lignina tipo Kraft se caracterizan por un grado relativamente alto de pureza (dada su insolubilidad en agua es posible separarla de componentes tales como, azúcares). En los análisis se determina que la fracción de lignina insoluble en ácido es 90%, la lignina soluble del 3% y el contenido de azúcar de 2.3% que corresponde a fracciones de carbohidratos. El contenido de azufre se encuentra entre el 1.5-3% que se distribuye entre azufre inorgánico y elemental. Este tipo de lignina no presenta grupos aldehído dado que son muy lábiles en las condiciones de reacción. En este método se puede obtener una pasta celulósica muy pura debido a la buena separación en la etapa de lavado con la lignina (Chávez-Sifontez, 2013).

b. Proceso a base de sulfito: Este tipo de lignina fue históricamente la más abundante a nivel industrial. Este proceso se realiza para la fabricación de pasta celulosa. Al inicio se desarrolló en base del uso de bisulfito de calcio pero debido a la falta de tecnología para la recuperación de este producto químico, dio lugar al uso de otros desarrollos para el licor generado en el procedimiento como la producción de lignosulfonatos de calcio. Este método ha ido evolucionando hasta incorporar otros sulfitos y bisulfitos como sulfitos de magnesio, de amonio y de sodio (Chávez-Sifontez, 2013). Este método ya casi no es utilizado a nivel mundial debido a que el método Kraft es un proceso más versátil que produce pastas más sólidas y da una mejor recuperación de los residuos sólidos. La producción de pasta por sulfito se ha reducido de casi 20 millones de toneladas en 1980 a unos 7 millones de toneladas en la actualidad (Chávez-Sifontez, 2013).

Este proceso se basa en la producción de pasta celulósica a base de diversas sales de azufre para extraer la lignina en digestores. Las sales utilizadas en el proceso de fabricación de pasta son o sulfitos o bisulfitos, dependiendo del pH. El contraión puede ser sodio, calcio, magnesio o amonio. El licor para la mayoría de las fábricas de sulfito se hace por la combustión

de azufre con la cantidad correcta de oxígeno para dar dióxido de azufre, que se absorbe después en agua para dar ácido sulfuroso. El proceso al sulfito se lleva a cabo entre 1.5 y 5 pH por 4 a 14 horas y a temperaturas que van desde 130 hasta 160 ° C. Durante el proceso de digestión se rompen los enlaces entre la lignina y los carbohidratos, ruptura de los enlaces C-O que interconectan las unidades de lignina y la sulfonación de las cadenas alifáticas de la lignina (Chávez-Sifontez, 2013). Durante el proceso de 4-8% de azufre se incorpora en las moléculas de lignina como grupos sulfonato. El proceso de sulfito no degrada la lignina en la misma medida que el proceso Kraft, por esto para la remoción de lignina no es selectivo y en el licor se encuentra presente partes de hemicelulosa y carbohidratos también. Si se desea obtener la lignina con mayor grado de pureza se debe de someter a más proceso de separación como fermentación alcohólica de los azúcares con una posterior destilación, precipitación y degradación química de los azúcares. Se utiliza el mismo procedimiento de recuperación, lavado y blanqueamiento que el proceso Kraft (Reddy, 2014).

c. Proceso soda: La fabricación de pasta celulósica por este proceso fue industrializada en 1853 y se ha utilizado tradicionalmente para fibras no madereras como fibra de paja, bagazo de caña de azúcar, entre otras. Estas materias primas han desempeñado un rol dominante como fuentes de pasta celulósica desde hace un siglo y tienen lugar importante en países en desarrollo (China, India y Latinoamérica). Las pastas de celulosa fabricadas mediante el proceso tipo soda se emplean principalmente para hacer papel de diferentes clases, también se obtienen pastas de celulosa especiales para fabricar embalajes. Usualmente las instalaciones donde se lleva a cabo este tipo de proceso son a pequeña escala, con poca capacidad y no trabajan óptimamente todo el año. Este proceso de fabricación de pulpa es similar al proceso Kraft (Chávez-Sifontez, 2013). La única diferencia que existe es que la materia prima fibrosa se digiere en la etapa de cocimiento con hidróxido de sodio o una combinación de hidróxido de sodio y carbonato de sodio. La calidad de la pulpa obtenida es baja y se utiliza para la fabricación de papel de baja calidad (Reddy, 2014). Dado que las fibras que se utilizan para este proceso tienen una estructura más accesible y bajo contenido de lignina las temperaturas de fabricación de la pasta celulósica pueden ser de 160°C o menores. Entre las similitudes que se pueden mencionar con el proceso Kraft son las reacciones que se llevan a cabo como la ruptura de enlaces entre la lignina y los carbohidratos, la despolimerización de la lignina y su recondensación. A diferencia del proceso Kraft, en la fabricación de pasta tipo soda el licor negro no contiene nucleófilos fuertes (sulfuro o hidrosulfuro) que podrían bloquear la condensación de los intermedios de fragmentación, es por esto que en este proceso se da más frecuente la condensación de la lignina. La recuperación de la lignina es baja en la precipitación con ácido mineral hasta formar una suspensión de lignina, esta se filtra, lava y seca. Se puede llegar a producir una lignina en polvo con elevada pureza y porcentaje de

humedad menor de 5%. Este tipo de lignina son de bajo peso molecular, insolubles en agua, se obtiene con bajos niveles de contaminante y están libres de azufre (Chávez-Sifontez, 2013).

3. Termoquímico y mecánico: En este tipo de tratamiento se trata la fibra con carbonato de sodio, hidróxido de sodio, sulfito de sodio y otros productos químicos así como se utiliza el tratamiento mecánico para la ruptura de la pared celular. Se pueden utilizar los métodos químicos antes explicados con diferentes modificaciones de temperatura, cantidad y tipo de reactivos dependiendo de la calidad de la pasta celulósica que se desea obtener. Las condiciones del tratamiento químico son mucho menos vigorosa (menor temperatura, el tiempo más corto, pH menos extremo) que en un proceso de fabricación de pasta química ya que el objetivo es una pasta celulósica fácil de filtrar y no para eliminar la lignina como en un proceso completamente químico (Reddy, 2014).

Debido a que se desean formar bobinas en base de pasta celulósica se va a enfocar en el procedimiento de las fábricas de papel para poder seguir los procedimientos utilizados en esta industria. Dependiendo del proceso de preparación de la pasta celulósica se puede obtener papel de diferentes calidades y cartón. De la pasta celulósica obtenida por proceso mecánico, pasta frágil, se puede transformar en productos de un solo uso como papel prensa o papel de seda. La pasta celulósica tipo Kraft se puede transformar en papel de usos múltiples como de alta calidad, libros, bolsas, entre otros. La pasta celulósica obtenida del proceso al sulfito se puede trabajar para obtener papeles especiales, películas fotográficas, adhesivos, entre otros. La pasta celulósica obtenida de métodos mecánicos y químicos es usualmente muy consistentes por lo que se puede crear cartón (Tescheke, 2009). La pasta obtenida por medio de papel reciclado se utiliza para fabricar papeles suaves y blandos como papel higiénico, toallitas o servilletas. Para poder producir la pasta papelera se debe de realizar una suspensión de la pasta celulósica y tamizarla, ajustando la consistencia. En las empresas de producción masiva y continua se realiza una extensión de la pasta celulósica en una tela metálica móvil o malla de plástico (tamiz o rejilla) en el extremo húmedo de la máquina donde se debe tener especial cuidado en la velocidad y movimiento por los contenidos altos de agua. El agua se va eliminando a través de un filtrado mientras la cinta va avanzando. La hoja de pasta celulósica pasa a través de unos rodillos rotatorios tipo prensa que escurren el agua y el aire hasta obtener una consistencia de 40-45% de pasta celulósica (Tescheke, 2009). La hoja pasa a la etapa de secado donde se hace flotar por una serie de pisos de secado de aire caliente hasta obtener una consistencia de 90-95% de pasta celulósica.

La bobina obtenida se corta en pliegos y se apila para posteriormente ser embaladas, apiladas y empaçadas por resmas para su almacenamiento y transporte. Se puede dar el caso

que algunas fábricas papeleras emplean un surtidor de diferentes pasta celulósicas para optimizar la calidad de papel por ejemplos una mezcla de pasta celulósica obtenida por el proceso Kraft, sulfito, pasta mecánica y reciclada. Usualmente, la pasta papeleras seca se rehidrata al tiempo que se diluye la pasta de alta consistencia. Las fibras de la pasta se pueden sacudir para aumentar la zona de enlaces entre las fibras para así mejorar la persistencia de la hoja. Se le puede agregar a la pasta aditivos como: talco para dar opacidad, dióxido de titanio como colorante, resina para mejorar la resistencia, arcilla para dar brillantes, entre otros. Estos aditivos suman costos en el proceso de fabricación pero dan una amplia gama de características para obtener el papel que se desea (Tescheke, 2009).

Si se está realizando un proceso casero se puede lograr replicar el mismo proceso por medio de la dilución de la pasta celulósica en una pileta y creando los pliegos de papel con el uso de un bastidor de un mesh adecuado (5-50). Para poder obtener bobinas se debe de colocar la pasta celulósica en un baño de agua donde se va sumergiendo el bastidor y creando el grosor deseado de la bobina, al ser un proceso no tan controlado el grosor entre bobinas puede variar significativamente. El secado se puede realizar con cuidado por medio de exprimir la bobina y dejar reposar en la interperie o si se desea mayor rapidez con la ayuda de un secador (Tescheke, 2009).

## T. Menstruación

La menstruación ocurre cuando no existe fecundación y consiste en la eliminación del recubrimiento uterino que había sido separado para recibir al ovulo. Inmediatamente después comienza la reconstrucción de otro endometrio, anticipando una vez más la fecundación. Este proceso ocurre constantemente en la vida reproductiva de la mujer. La etapa de la menstruación produce el desechamiento de alrededor de tres cuartas partes del recubrimiento de la superficie uterina. La cuarta parte que permanece sirve para regenerar a partir de ella el nuevo recubrimiento uterino (Sheldon, 1999).

Después d la menstruación se da un aumento gradual de la secreción de una hormona que produce la hipófisis, gonadotropina, la cual estimula al ovario para que produzca estrógeno, el que, a su vez, produce un nuevo crecimiento celular del endometrio. A medida que se alcanza el punto más alto de estrógeno, se inhibe la producción de gonadotropina por parte de la hipófisis, lo que precipita la producción de luteotropina y la estimulación de la ovulación (Sheldon, 1999).

Durante esta etapa proliferativa del ciclo menstrual, se dan ciertos cambios en el ovario relacionados con el crecimiento del folículo que contiene al óvulo. En el útero, el recubrimiento se

engrosa dado que las células han estado creciendo en espera del ovulo. En las mujeres, el periodo de ovulación es el de mayor fertilidad, la ovulación se da en una fase cíclica (Sheldon, 1999).

## U. Ciclo menstrual

Los periodos menstruales en la mayoría de las mujeres no son regulares. Aunque la duración promedio del ciclo menstrual sea de veintiocho días, la mayoría tiene un ciclo cuya duración va entre los veintiséis y los treinta y cuatro días. En un estudio realizado a una serie de cuatro mil mujeres, solamente el tres por ciento registro tener ciclos notablemente regulares. Sin embargo, casi todas indicaron tener leves variaciones individuales en cuanto a la duración de su ciclo menstrual. Cuando se acerca la menopausia, los ciclos tienden a ser irregulares nuevamente (Sheldon, 1999).

Cualquier irregularidad del ciclo menstrual está causada por la alteración de la fase proliferativa o de crecimiento. La ovulación suele ocurrir en el catorceavo día después del primer día de flujo menstrual. La longitud del periodo menstrual, es decir, el flujo, también varía. Aunque el promedio sea de cuatro días y medio existen variaciones desde los dos hasta los ocho días. Es común que antes o durante la menstruación se presenten molestias mínimas, pero no interfieren en las actividades cotidianas (Sheldon, 1999).

Según estudios la sangre compone el 30-48% del total del flujo menstrual para las mujeres con pérdida de sangre moderada (25-50 mL) y para las mujeres con pérdida de sangre excesiva es mayor al 50% (> 100 mL). El volumen total de flujo menstrual por mujer es de 85 mL o más, del cual 40 mL es sangre (Faser & Warner, 2011).

Por otra parte, el fluido menstrual se caracteriza por comportarse como un fluido no-newtoniano, es decir, su viscosidad no sólo es dependiente de la temperatura, son también del gradiente o perfil de velocidad del fluido en movimiento. Así, se considera una viscosidad aparente entre siete y ocho centipoise, con una densidad alrededor de 1 gramo por mililitro y un pH básico (Rubera, 2010).

## V. Higiene menstrual

Durante la menstruación, el aseo y la higiene personal es muy importante para evitar cualquier tipo de infecciones. El uso de productos de protección femenina, tales como: toallas sanitarias, tampones y protectores diarios, permiten contener la hemorragia que se produce durante este proceso fisiológico, facilitando el desarrollo normal de las tareas del día a día. No obstante, esto no fue siempre así. En el pasado, las mujeres utilizaban materiales como trozos de tela, papel o

algodón para retener el fluido menstrual. Esto cambió a partir de 1921, cuando la compañía Kimberly-Clark introdujo al mercado la primera toalla sanitaria desechable, que se sostenía mediante una correa elástica (Rubera, 2010).

En la actualidad el inicio de la menstruación presenta múltiples retos para las niñas escolares adolescentes. Muchas de ellas carecen de los conocimientos, apoyo y recursos para manejar el tema de la menstruación en las escuelas. Los problemas a los que se enfrentan las niñas adolescentes incluyen la auto-exclusión, reducida participación escolar, distracción, pérdida de tiempo escolar, ausentismo y embarazos no deseados (UNICEF, 2011).

Muchas mujeres tienen conocimientos inexactos y contradictorios dados en el hogar. No se tiene suficiente educación menstrual en las escuelas, por lo que muchas veces existe la necesidad de una fuente fiable de información y apoyo. El higiene, seguridad y comodidad son condiciones indispensables durante el periodo de menstruación. Las creencias tradicionales acerca de la sangre menstrual y la forma correcta de su desecho también pueden influenciar cómo las niñas adolescentes desechan las compresas sanitarias y paños menstruales (UNICEF, 2011).

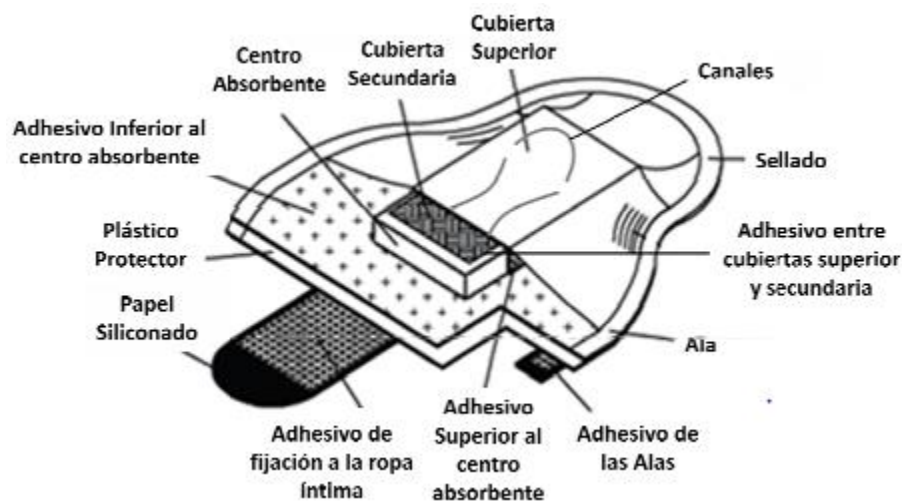
## W. Toallas sanitarias femeninas

1. **Función.** Una toalla sanitaria femenina es producto de higiene personal, el cual es absorbente y desechable. Sus funciones son: (1) absorber el flujo de líquido menstrual, (2) aislar la humedad de la piel, (3) retener el líquido menstrual, evitar derrames, y (4) aislar olores del líquido menstrual del medio ambiente. Estas funciones deben estar acompañado de proporcionar una sensación de comodidad, buena apariencia, la prevención de olores, entre otras (Rubera, 2010).

La cantidad de sangrado varía de mujer a mujer y de un día a otro dentro de un mismo período; igualmente, depende de la edad, del tipo de método anticonceptivo empleado y del conglomerado de factores físicos, sociales y económicos. De este modo, el nivel de protección requerida también es variable. En función de esto, existen numerosos tipos de toallas sanitarias disponibles en el mercado. Cada tipo de toalla femenina se adapta a necesidades específicas tanto de protección como de comodidad y discreción, gracias a la combinación de varias de las siguientes características: ultra delgada, delgada o gruesa (relativo al grosor de la toalla sanitaria); regulares largas o extra-largas (hace referencia al largo o tamaño de la toalla sanitaria); cubierta suave depende del tipo de tal o malla; con o sin alas; con o sin loción y/o perfume (Rubera, 2010).

2. Estructura de una toalla sanitaria. La estructura de una toalla sanitaria se construye a partir de la superposición de una serie de materiales. Cada uno de ellos, cumple una función específica en lo que respecta a la recepción, el manejo y la distribución del fluido menstrual (Rubera, 2010).

Ilustración 9 Componentes de una toalla sanitaria



(Rubera, 2010).

En líneas generales, toda toalla sanitaria está configurada por las siguientes partes o componentes:

a. **Cubierta superior.** Capa más externa de la toalla sanitaria que, en condiciones de uso, entra en contacto con la vulva de la mujer. Su función es favorecer la absorción rápida del fluido menstrual hacia el centro absorbente, así como la retención de éste dentro del cuerpo de la toalla. Está cubierta se fabrica a base de polietileno, polipropileno o una mezcla de ambos, generando cubiertas de propiedades diferentes, en función del tratamiento que se les dé a las fibras. Sin embargo, en términos generales, las cubiertas superiores pueden ser de dos tipos: de mall o de tela no tejida. Algunos productos contienen loción en la cubierta superior, con la finalidad de brindar beneficios adicionales de protección y cuidado de la piel (Rubera, 2010).

b. **Cubierta secundaria.** Lámina delgada que combina materiales como celulosa, fibras de algodón y polietileno. Se encuentra ubicada a continuación de la cubierta superior. Vale acotar que, en algunas configuraciones de toalla sanitarias, se prescinde de esta capa. Su función es generar un gradiente de densidad entre la cubierta superior y el centro absorbente, que favorezca el transporte rápido del fluido al centro absorbente. Por otra parte, mejora la distribución

del fluido dentro de la toalla sanitaria, a la vez que ayuda a la integridad de la misma (Rubera, 2010).

c. Centro absorbente. La función de esta capa es la absorción y distribución del fluido menstrual, al tiempo que le da a la toalla sanitaria resistencia y flexibilidad. Está constituido, principalmente, por celulosa o pulpa de papel, un gramo de pulpa de celulosa puede absorber hasta cuatro gramos de solución salina. En el caso de las toallas sanitarias ultra delgadas, la pulpa se comprime y combina con partículas de poliacrilato de sodio. El poliacrilato de sodio es un polímero con múltiples aplicaciones gracias a su capacidad de absorción de agua, debido a esto pertenece a la categoría de polímeros super absorbentes. Este polímero puede absorber hasta 800 veces su propio peso en agua destilada, 300 veces en el agua del grifo y 60 veces en soluciones de NaCl al 0.9%. La diferencia en estas tres soluciones es la concentración de electrolitos (Rubera, 2010).

d. Plástico protector. Cubierta inferior de la toalla sanitaria compuesta principalmente de polietileno. Sus características hidrofóbicas impiden la salida del fluido menstrual hacia la ropa interior de la mujer (Rubera, 2010).

e. Ala. Prolongaciones laterales de la toalla sanitaria que permiten su fijación a la ropa interior de la mujer (Rubera, 2010).

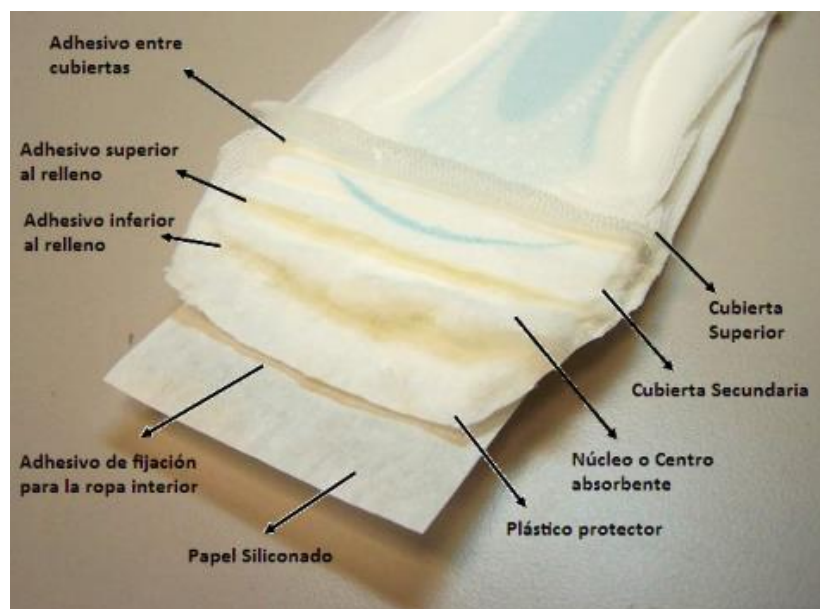
f. Papel siliconado. Protege los adhesivos de fijación de la toalla sanitaria a la ropa interior. En el momento de uso de la toalla, son removidos y desechados (Rubera, 2010).

g. Sellado. Unión termo-física de las cubiertas superior e inferior. Su función es el encapsulamiento del fluido menstrual en el interior de la toalla sanitaria, evitando así su fuga al exterior (Rubera, 2010).

h. Canales. Patrones de diseño en la superficie de la toalla, de profundidad variable en función de presión y/o temperatura aplicadas al producto. Dichos canales favorecen la distribución del fluido menstrual a lo largo de la toalla e impiden su derrame al exterior (Rubera, 2010).

i. Adhesivos. Existen dos tipos de adhesivos: externos y de construcción. Los primeros permiten fijar la toalla sanitaria a la ropa interior de la mujer; mientras que los de construcción mantienen unidos, íntegros y en su lugar, a todos los componentes internos de la toalla (Rubera, 2010).

Ilustración 10 Adhesivos de una toalla sanitaria



3. Absorción, adsorción y distribución de fluidos en medios porosos. El proceso de absorción, y distribución de fluidos en las toallas sanitarias puede ser atribuido a la existencia de dos fenómenos principales: La capacidad de las fibras de ser mojadas por la sangre (Tensión superficial y ángulo de contacto) y al fenómeno de capilaridad producido por los espacios intersticiales entre las fibras de los tejidos y fibras de celulosa. Por otro lado, en las fibras también se da el fenómeno de adsorción aunque en menor proporción que el anteriormente mencionado. Es importante conocer y manejar ciertos conceptos para una mejor comprensión del problema en estudio. Estos conceptos se definen a continuación (Madrigal, 2008).

a. Tensión superficial. La tensión superficial es una propiedad que resulta de las fuerzas de atracción entre las moléculas de los fluidos; como tal, se manifiesta sólo en la superficie de un líquido, por lo regular una interfaz líquido-gas (Madrigal, 2008) .

Los líquidos tienen las propiedades de cohesión y adhesión; ambas son formas de atracción molecular. La cohesión permite que un líquido resista esfuerzos de tensión, mientras que la adhesión le permite adherirse a otro cuerpo. A nivel microscópico, la tensión superficial se debe a que las fuerzas que afectan a cada molécula son diferentes en el interior del líquido y en la superficie (Madrigal, 2008).

La tensión superficial depende de la naturaleza de las dos fases puestas en contacto que, en general, será un líquido y un sólido. Es un factor decisivo para la capacidad de recubrimiento de un material. La tensión superficial de un sólido se puede determinar separando en partes polares y no-polares los ángulos estáticos del borde de diferentes líquidos de prueba sobre la superficie en cuestión (Madrigal, 2008).

Para disminuir la tensión superficial de un líquido se pueden añadir compuestos conocidos como surfactantes, estos se utilizan para convertir un material hidrofóbico (repele a los líquidos acuosos) en un material hidrofílico (con afinidad hacia los líquidos acuosos). Las moléculas de surfactantes contienen componentes hidrofóbicos e hidrofílicos, por lo que son parcialmente solubles en solventes orgánicos y acuosos (Madrigal, 2008).

b. Porosidad. Entre las partículas de un medio sólido existen espacios intersticiales, y el fluido puede transmitirse a través de estas trayectorias potencialmente irregulares. La porosidad se refiere a la medida del espacio intersticial (por ejemplo, entre fibras), y se define como la relación entre el volumen de vacíos y el volumen total del sólido (Madrigal, 2008).

c. Adsorción. La adsorción es el proceso mediante el cual se extrae materia de una fase y se encuentra sobre la superficie de otra fase (generalmente sólida). Por ello se considera como un fenómeno superficial. La sustancia que se concentra en la superficie o se adsorbe se llama adsorbato y la fase adsorbente se llama adsorbente (Madrigal, 2008).

## X. Diagrama

Se refiere a la representación gráfica de las variaciones de un fenómeno o de las relaciones que tienen los elementos o las partes de un conjunto. Es la representación visual de un concepto, idea, evento, situación o proceso; la cual incluye la definición textual y la desagregación de atributos distintivos que la configuran (Tapia *et al*, 2005).

1. Diagrama de proceso. Debe de estar dibujado de manera que el flujo y las operaciones del proceso se destaquen de inmediato. Esto se logra brindando solamente los detalles esenciales, utilizando flechas para indicar la dirección del flujo, empleando líneas más gruesas para las líneas principales de flujo e indicando temperaturas, presiones y cantidades de flujo en diversos puntos significativos del diagrama. Se presentan ciertos datos pertinentes del diseño del proceso, como la capacidad de ciertos equipos, datos de diseño de recipientes y requerimientos especiales (Tapia *et al*, 2005).

A menudo utilizan símbolos convencionales para regiones estándar de equipo, tales como bombas o intercambiadores de calor. Excepto cuando se necesitan para darle claridad al proceso, las válvulas, líneas de servicio y partes de repuesto de equipo se omiten. Únicamente se ilustran instrumentos esenciales al control del proceso (Tapia *et al*, 2005).

2. **Diagrama de flujo.** Un diagrama de flujo es un documento clave en el diseño del proceso. Debe ser el armazón para poder estimar la inversión de equipos y debe de ser la fuente de especificaciones utilizadas en el diseño y selección del equipo. Este debe contener los números y nombres de identificación del equipo, presiones y temperaturas, identificaciones de servicios, y flujo de masa y volumen de las corrientes seleccionadas y una tabla de balance de materia ligada por medio de una clave de líneas de proceso. En otras palabras, muestra el arreglo o disposición del equipo seleccionado para llevar a cabo la producción y además indica la conexión de corrientes, tasas de flujo, composiciones y condiciones de operación (Tapia *et al*, 2005).

El diagrama de flujo se elabora a partir de balances de materia alrededor de cada unidad y del proceso completo. También deben hacerse balances de energía para determinar flujos de ella, así como requerimientos de servicios. El diagrama de flujo constituye un modelo esquemático del proceso y tiene como función servir de base para el diseño de equipo, tubería, instrumentación y distribución de planta (Tapia *et al*, 2005).

Cada uno de los equipos que aparecen en el diagrama deben identificarse con un código y un nombre. El código más común consiste en utilizar la letra inicial del tipo de equipo, seguida por unos dígitos, para identificar la unidad en particular (Tapia *et al*, 2005).

## Y. Balances de materia

El balance de materia se define como un método matemático utilizado principalmente en la rama de ingeniería química, basado en la ley de conservación de la materia, la cual enuncia que la materia no se crea ni se destruye, solamente se transforma. Este método establece que la masa de un sistema cerrado permanece siempre constante. De manera general, un balance de materia se escribe como: (Gómez, 2013)

$$\text{Entrada} + \text{Generación} - \text{Salida} - \text{Consumo} = \text{Acumulación} \quad (1)$$

Por entrada se considera toda la materia que ingresa al sistema a través de sus fronteras. Por generación, toda la materia que se produce dentro del sistema, cuando el proceso es reactivo. Por salida, toda la materia que sale del sistema a través de sus fronteras. Por consumo, a la

materia que se consume o utiliza dentro del sistema, cuando este es reactivo. Y por último, la acumulación corresponde a la materia que se acumula dentro del sistema. (Gómez, 2013) Para procesos reactivos en estado estacionario, la ecuación presentada anteriormente se reduce a:

$$\text{Entrada} + \text{Generación} - \text{Salida} - \text{Consumo} = 0 \quad (2)$$

Ya que no hay acumulación de materia. La formación de productos y consumo de reactivos dependerán de las reacciones químicas involucradas en el proceso de estudio. Ahora bien, si en el proceso no suceden transformaciones químicas de materia, es decir, no hay reacciones químicas involucradas (proceso no reactivo), la ecuación anterior se simplifica a: (Gómez, 2013)

$$\text{Entrada} = \text{Salida} \quad (3)$$

Esta última expresión es válida tanto para sistemas continuos, como sistemas por lotes.

1. **Balances totales y por componentes.** Para cada unidad de proceso se puede describir un balance total y varios balances por componentes. En un balance total se considera la masa total de cada corriente implicada en el proceso. Mientras que en un balance por componentes se considera solamente la masa del componente específico analizado en cada una de las corrientes involucradas en el proceso (Gómez, 2013).

2. **Pasos para resolver un balance de materia.** A continuación se presentan una serie de pasos recomendados a seguir para resolver de manera clara un problema de balance de materia: (Gómez, 2013)

- a) Leer y comprender el enunciado del problema, determinando qué información es dada de forma explícita y cuál es suministrada de forma indirecta; además de determinar qué variables deben de ser calculadas.
- b) Dibujar un diagrama de flujo.
- c) Seleccionar una base de cálculo, así como las unidades de trabajo para las variables y parámetros del problema.
- d) Analizar el número de incógnitas y de ecuaciones por unidad de proceso y/o en forma global.
- e) Ordenar ecuaciones por número de incógnitas.
- f) Resolver ecuaciones planteadas, haciendo uso de todas las herramientas matemáticas conocidas.

## Z. BALANCES DE ENERGÍA

Un balance de energía es una derivación matemática de la ley de conservación de la energía, la cual afirma que la cantidad total de energía en cualquier sistema físico aislado permanece invariable con el tiempo, aunque esta energía puede transformarse en otra forma de energía. El balance de energía es un principio físico fundamental al igual que la conservación de masa, que es aplicado para determinar las cantidades de energía que es intercambiada y acumulada dentro de un sistema (Himmelblau, 2002).

Al examinar solamente sistemas homogéneos, sin cargas y sin efectos de superficie, y al aplicarlo sólo desde el punto de vista macroscópico; se obtiene la ecuación general del balance de energía expresada como: (Himmelblau, 2002)

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{acumulación de} \\ \text{energía dentro} \\ \text{del sistema} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} \text{transferencia de} \\ \text{energía al sistema a} \\ \text{través de su frontera} \end{array} \right\} - \left\{ \begin{array}{l} \text{transferencia de energía} \\ \text{hacia fuera del sistema} \\ \text{a través de su frontera} \end{array} \right\} \\ + \left\{ \begin{array}{l} \text{generación de energía} \\ \text{dentro del sistema} \end{array} \right\} - \left\{ \begin{array}{l} \text{consumo de} \\ \text{energía dentro} \\ \text{del sistema} \end{array} \right\}$$

Para sistemas cerrados, sin reacción química, se obtiene la expresión matemática del balance de energía de la siguiente manera: (Himmelblau, 2002)

$$\Delta E = E_{t2} - E_{t1} = \Delta U + \Delta P + \Delta K = Q + W$$

Dónde  $\Delta E$  es la diferencia de energía total del sistema durante un proceso,  $U$  la energía interna,  $P$  la energía potencial,  $K$  la energía cinética,  $Q$  el calor y  $W$  el trabajo. Estas dos últimas son energías de transferencia hacia el sistema del entorno o viceversa (Himmelblau, 2002).

Por otro lado, para balances de energía en sistemas abiertos, sin reacción química, se obtiene la siguiente expresión: (Himmelblau, 2002)

$$\Delta E = E_{t2} - E_{t1} = \Delta H + \Delta P + \Delta K = Q + W$$

Como se observa, para este sistema se toma en cuenta la energía asociada a la masa que entra y sale del sistema, es por esto que se encuentra una nueva variable denominada entalpía ( $H$ ).

## AA. PROCESO DE FABRICACIÓN DE TOALLAS SANITARIAS

El proceso de producción de las distintas toallas sanitarias existentes en el mercado es muy similar, ya que solamente cambian algunas materias primas. A continuación se presenta una descripción del proceso básico. En primer lugar, se tritura la fibra celulosa para formar la pulpa utilizando un molino. En algunos tipos de toallas sanitarias se agrega un componente especial denominado "SAP", el cual es un polímero que gelatiniza fluidos al entrar en contacto con ellos debido a su alta capacidad de absorción. Cuando la pulpa está lista pasa por un tambor formador que contiene moldes, dónde obtiene su peso, forma y consistencia requerida (Céspedes, 2006).

Una vez formado el pad o relleno de la toalla, se coloca entre una capa de tela, la cual estará en contacto con el cuerpo; y una capa de polietileno. Se aplica presión y calor a la capa de tela para realizar pequeños canales que pueda distribuir de mejor manera el fluido a lo largo de la toalla sanitaria. Luego pasa a una unidad de termo sellado, donde un par de dados presionan el producto y lo sellan con la combinación de presión y calor nuevamente, para obtener la forma definitiva (Céspedes, 2006).

Se coloca un adhesivo para que la toalla se adhiera a la prenda y no se mueva con la ayuda de bandas transportadoras y una unidad central de cinta. Luego se transporta con bandas a otra unidad dónde se colocan las alas, el adhesivo y las cintas removibles de las alas, si la toalla sanitaria lo requiere. Para proporcionar cierta textura o relieve a la capa de tela, se utiliza un embosador. Por último la toalla se lleva hasta la unidad de corte final en donde el producto obtendrá su forma final (Céspedes, 2006).

## BB. PROCESO DE FABRICACIÓN DEL PAPEL

El papel es un material compuesto por una lámina delgada de pulpa celulósica, la cual es una pasta de fibras vegetales molidas y suspendidas en agua. Las fibras que lo componen se encuentran aglutinadas mediante enlaces por puente de hidrógeno. Su proceso de producción dependerá del tipo de papel, pero se pueden distinguir las siguientes etapas principales: (Biermann, 1996)

1. Obtención de la pulpa. Se puede obtener por medios químicos o medios mecánicos. Esta se prepara en un equipo denominado "pulper o despulpador", en el cual se mezcla con agua.

2. Refino. Las fibras en suspensión obtenidas pasan por un tratamiento físico, un proceso de fricción, en el cual aumentan su capacidad para unirse o aglomerarse entre sí. Se utilizan discos metálicos para frotar las fibras entre sí, cada tipo de papel utiliza una refinación distinta de acuerdo a cada necesidad.

3. Máquina de papel. Es una serie de equipos en donde la pasta celulósica se convierte en papel. Sus partes se dividen en cabeza y tela, prensas y secadores, lisas y calandras, y enrollado.

4. Rebobinado y corte. Se eliminan los defectos y se cortan las hojas de papel para poderlo separar en paquetes.

## CC. EQUIPO

1. **Molino de rodillos.** Este equipo es utilizado en la molienda de algunos cereales como el centeno, trigo, cebada, avena, maíz, soja, arroz y otros, con el fin de obtener harinas panificables, además puede ser empleado para el machacado del grano de centeno ya limpio. También puede aplicarse para la trituración de sal, azúcar, entre otros. El molino de cilindros básicos se compone de dos secciones de trituradores independientes, uno fijo y uno regulable, pueden ser estriados o lisos (Hopp, 1994).

2. **Triturador de discos dentados.** En este equipo se encuentran un disco fijo y uno giratorio fabricados con tal precisión que los dientes de las coronas dentadas concéntricas se adaptan perfectamente entre sí. La materia que hay que triturar se introduce en la proximidad del eje, penetra entre los dientes de los discos y allí se produce su desintegración por cizalladura y rozamiento. Variando el tamaño de los dientes se obtienen granos de tamaños diferentes (Hopp, 1994).

3. **Tanque agitado.** Es un equipo donde se realiza una mezcla de componentes y cuando ocurre una reacción química se denominan reactores químicos. Son de forma cilíndrica y pueden ser operados por lotes o con flujo continuo. Se utilizan para la mezcla de líquidos miscibles, dispersión de un gas en un líquido, mezcla o dispersión de líquidos no miscibles, apoyo para la transferencia de calor entre un líquido y una superficie intercambiadora de calor, entre otros (Hopp, 1994).

4. **Despulpador.** Es un recipiente con una hélice en su parte inferior en el que se mezclan todos los componentes básicos para la creación de la pasta celulósica. La materia prima puede ser papel reciclado, fibra virgen o una mezcla de ambas; con lo que se logra la separación de las fibras de tal forma que pueden ser procesadas en etapas posteriores. El despulpador logra desintegrar la fibra por acción de una operación mecánica (Biermann, 1996).

5. **Máquina de papel.** Es el elemento más importante en la fabricación del mismo. Es en dónde la pasta en suspensión se convierte en papel. Aunque existen variaciones, la más extendida es la máquina de mesa plana, derivada de la primera máquina inventada "Fourdrinier". Esta consiste de varios elementos: (Biermann, 1996)

a. Cabeza. Expulsa la pasta de papel en una fina capa sobre la tela de la máquina de papel. Es una caja alargada y en su interior circula la pasta. En su extremo inferior posee una abertura en su largo por donde sale la película de pasta. El ancho de dicha abertura se puede controlar por medio de los denominados "labios".

b. Tela. Es una malla fina en donde se coloca la pasta de papel y comienza el desgote y secado. El secado primario es por gravedad, ya que el agua cae atravesando la tela. Luego el exceso de agua se elimina con varios elementos:

1) Vacuum foils. Piezas de plástico que se colocan en la parte inferior de la tela y absorben el agua mediante bombas de vacío.

2) Dandy. Es un rodillo hueco, recubierto de una malla. Este se coloca en la parte superior de la tela en contacto directo con el papel. Logra exprimir el agua mediante presión.

c. Prensas y secadores. En esta etapa se utiliza presión y calor para eliminar toda la humedad posible. La presión se aplica por medio de pares de rodillos recubiertos de goma y se utiliza una cinta de fieltro entre los rodillos y el papel para absorber el agua escurrida por la presión. Luego el papel prensado pasa por una serie de rodillos huecos por los que circula vapor a altas temperaturas.

d. Enrolladora. Por último el papel fabricado se enrolla en grandes bobinas para su posterior uso.

6. Troqueladora. Se denomina troquelación a la operación mecánica utilizada para realizar agujeros en chapas de metal, láminas de plástico, papel o cartón. Para esto se utilizan mecanismos de accionamiento manual o automáticos. El troquel es un instrumento para recortar o estampar por presión. El troquelado es una de las principales operaciones en el proceso de fabricación de embalajes de cartón. El troquel puede ser plano o rotativo. El primero posee un perfil plano y una base metálica contra la que actúa, su movimiento es perpendicular a la plancha consiguiendo así una gran precisión en el corte. En cambio, el rotativo consta de un cilindro con una base opuesta que está hecha con un material flexible, su movimiento es continuo y el registro de corte es de menor precisión (Biermann, 1996).

## V. Antecedentes

El pinzote o pseudotallo de la planta de banano es un recurso natural abundante, el cual se desecha después de cada cosecha. En la cosecha del banano, después de la extracción del fruto, el pinzote debe de ser cortado ya que este solo proporciona frutos una vez. Por lo que al cortarlo, la planta crece uno nuevo que dará frutos la siguiente cosecha. El pinzote no se corta completo, solo se corta la parte donde se encuentran las hojas y el racimo. La parte remanente del pinzote sirve para alimentar al pinzote nuevo que la planta está creciendo para dar un nuevo racimo la siguiente cosecha. El pinzote que queda se va cortando conforme el pinzote nuevo ya no lo va necesitando para alimentarse por lo que el tronco viejo se pudre. Una cosecha dura un año de donde se obtienen de cada planta un racimo que da fruto alrededor de 150 bananos en promedio. Debido a esto el pinzote de banano es considera un desecho que actualmente las bananeras lo utilizan como abono orgánico o lo queman, causando contaminación (APIB, 2012).

En las últimas décadas, las personas se han enfocado en la preservación forestal y la utilización de residuos forestales y de la agricultura. Esta tendencia se debe a que cada vez es más acelerado el consumo de productos a base de fibra de madera y incrementando la disminución de los recursos madereros. Por lo tanto se ha hecho énfasis en la investigación de fibras celulósicas las cuales tienen ventajas como su bajo costo y su biodegradabilidad. El pinzote de banano posee una alta cantidad de fibra celulosa la cual se ha reportado que tiene un alto módulo de Young y una gran capacidad de absorción. Así como también tienen propiedades físicas satisfactorias como alta resistencia a la tracción y alta rigidez las cuales indican que es una fibra con un alta variedad de usos (APIB., 2016) Por lo tanto la fibra del pinzote de banano se puede extraer y por sus características ser utilizada para una amplia gama de usos.

Debido a las características y propiedades de la planta de banano, las diferentes partes de la misma se aprovechan de numerosas formas. En India se utilizan las hojas para servir comida ya que es higiénico, saludable y no contamina el ambiente. En Uganda las hojas son utilizadas como techos de las viviendas para resguardarse de la lluvia. En Venezuela, por costumbre y tradición se utilizan las hojas como envoltorio de distintas comidas. Por otra parte el pseudotallo es utilizado en la construcción de viviendas lo cual brinda una resistencia mayor. (Martinez, 1999)

Se realizó un estudio publicado en la Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales, sobre la “Degradación térmica de fibras naturales procedentes de la calceta de plátano (estudio cinético)” En donde se indica por literatura que la hemicelulosa comienza procesos de descomposición térmica cerca de los 180 °C, La celulosa en torno a 240 °C y la lignina a 280 °C.

Los procesos de descomposición de un compuesto que esté constituido por los tres elementos no son claramente definidos pues no sucede la descomposición térmica como eventos independientes, sino más bien se da un evento en donde coexisten los fenómenos particulares de cada compuesto. Para analizar el comportamiento térmico de la fibra de banano proveniente de la hoja la cual fue molida y tamizada para utilizar la fibra retenida en la malla No 30. Se realizaron ensayos de termo gravimetría en una termobalanza, con lo que concluyeron que todas las muestras analizadas presentan una pérdida de masa inicial en torno a 100 °C debido a la eliminación de agua presente en las muestras y el siguiente evento térmico detectado fue alrededor de 170 °C el cual corresponde al inicio de la degradación de la fibra vegetal. (Betancourt, Gañán, Jiménez, & Cruz, 2009)

Akubueze y otros, 2015, en “Extraction & Production of Agro- sack from banana (*Musa Sapientum*) & Plantain (*Musa paradisiaca*) Fibres for packing agricultural produce”; publicado en International Journal of Agriculture and Crop Science, muestran un análisis de los pinzotes de banano y plátano de los cuales se extrajo la fibra en condiciones controladas para determinar las propiedades fisicoquímicas según ASTM standard for textiles –fibres, zippers, yarns and fabrics. Tensile strength: 380-650Mpa & 309.86 – 450.70Mpa, Elongation at break: 1.7-2.7% & 2.5- 4.6%, Young’s modulus; 24.5-36.0GPa, & 12.99-25.89GPa para la fibra natural y enriado (fermentación) microbiano de fibras respectivamente, de las cuales se obtuvo los resultados mostrados en Cuadro 2.

Cuadro 5. Propiedades fisicoquímicas y mecánicas de la fibra de banano y plátano

Parámetro	fibra de banano	
	Natural	fermentación microbiana
Contenido de humedad (%) @105 °C, 3.4-4.5 min.	9.01-10.89	9.71-11.50
Densidad de la fibra (g/cm <sup>3</sup> )	0.86-1.12	0.80-1.20
contenido de ceniza (%)	0.8-2.45	0.90-1.20
absorción de agua (%)	0.4	0.5
Celulosa (%)	55.02-63.03	50.05-61.07
Hemicelulosa (%)	12.05-18.00	-----
lignina(%)	8.50-10.07	9.00-12.05
Fuerza de tensión (Mpa)	380-650.0	309.86-450.70
Ruptura de elongación (5)	1.8-2.553	2.50-4.58
Módulo de Young (Gpa)	25-35	12.99-25.89

(Akubueze, y otros, 2015)

Con estos datos concluyeron que las fibras resultantes poseen suficiente resistencia, uniformidad, finura y un cierto nivel de flexibilidad que le permiten soportar las tensiones y el estrés

del proceso de hilado y el tejido.

M. Truong y colaboradores, 2009 publicaron “A comparative Study on natural fibre density measurement” en la revista “*Journal of Textile Institute*” con el fin de comparar los distintos métodos que se utilizan para determinar la densidad de la fibra natural las cuales se desean utilizar como refuerzo en materiales biocompuestos. Se compararon los distintos métodos haciendo referencia a la exactitud, costo, velocidad del resultado y la determinación si es conveniente y seguro el uso del mismo. Los métodos que evaluaron fueron: diámetro y densidad linear, método de Arquímedes y picnometría de helio. Como resultado del estudio, se recomiendan dos métodos: Arquímedes (con el uso de aceite de canola como fluido de inmersión) y el picnometría de helio. El primero fue encontrado para ser simple, rápido para dar el resultado e incurrir en un costo más bajo, y por lo tanto prometedor para el uso general en la medición de la densidad de la fibra natural, pero este último, aunque son capaces de proporcionar resultados más repetibles, sea a un costo mucho más alto .

Cuadro 6. Comparación de tiempo y costos de metodologías evaluadas para la determinación de densidad.

Método	Cantidad de muestras	Tiempo [Min]		Costo [\$]
		experimentación	Montajes y calibración	
Diámetro/densidad linear	100/10	120	20	3,801.50
Arquímedes	7	45	20	3,372.55
Picnometría de helio	10	35	35	9,565.00

(Truong & Colaboradores, 2009)

En el laboratorio de ingeniería de pulpa y papel de la Universidad de Tecnología del Sur de China, se realizó un análisis de la composición química de la fibra de banano. Se utilizó como muestra un pinzote de la plantación en Gaozhou (Guangdong, China) de donde se obtuvo la fibra. Se determinó que la composición de la fibra de banano (Li, Fu, Zhan, & Lucian, 2010)

Cuadro 7. Composición de la fibra de banano del pinzote de la plantación en Gaozhou (Guangdong, China) por el laboratorio de ingeniería de pulpa y papel de la Universidad de Tecnología del Sur de China

porcentaje	celulosa	holocelulosa	lignina	ácido soluble lignina	ceniza	extractos	peptina
Fibra de banano	39.12	72.71	8.88	1.90	8.20	3.05	0.27

(Li, Fu, Zhan, & Lucian, 2010).

El laboratorio llegó a la conclusión que debido al aceptable contenido de celulosa y holocelulosa y su bajo contenido de lignina la fibra de banano tiene un aplicación para la realización de pulpa y papel (Li, Fu, Zhan, & Lucian, 2010). Una forma de obtener a fibra de los pseudotallos es cortar en trozos pequeños y calentarlos en álcalis como el hidróxido de sodio. Esta mezcla cocida se lava con agua para neutralizar el pH y se muele hasta obtener una pulpa. La masa gelatinosa (la celulosa) se separa por filtración y se aplica como película delgada sobre una superficie plana, que al secarse constituye el papel. el consumo de papel a partir del banano reduce la deforestación ligada a la producción de papel, particularmente cuando la fibra en el mercado internacional es escasa (INFOMUSA, 1995).

Por otra parte, en la Universidad Pontificia Bolivariana de Colombia por la Dra. Gómez y colaboradores han estado realizando experimentaciones con la fibra de banano para determinar el uso de nanocelulosa en la industria alimentaria como refuerzo de empaques, entre otras aplicaciones; Proponen un método de extracción mecánico y químico para la separación de la celulosa de los otros compuestos presentes en la fibra (lignina y hemicelulosa). Una vez extraída se hicieron pruebas en donde determinaron que la nano celulosa puede absorber hasta 200-300 % su peso (Gómez D. , 2016).

La fibra de banano es un absorbente natural tiene un potencial en absorber aceites derramados en refinерías. Con una cantidad de cenizas reducidas y gran cantidad de holocelulosa son adecuadas para la producción de papel. Además contiene proteínas patogénesis las cuales poseen propiedades antibacterianas. La cubierta externa del pseudotallo es mayormente de material celulósico mientras que el centro es rico en polisacáridos pero bajo en contenido de lignina (Mohapatra, 2010).

Las fibras se utilizan principalmente para elaboración de artesanías (sombreros, abanicos, zapatos, bolsas, tapetes, etc), actividades que se realizan en la Vía. Mérida, Brasil, Colombia, Ecuador, entre otros países. Además se aprovecha para obtener la celulosa para la fabricación de papel y textiles. La fibra de banano tiene gran resistencia y puede ser fácilmente mezclado con fibra de algodón u otras fibras sintéticas para producir tejido mezclado y textiles. En Filipinas, ropas de alta calidad son hechas con estas fibras; mientras que en Alemania se utilizan para la elaboración de los forros interiores de los carros (INIBAP, 1996). En Costa Rica se ha comercializado una línea de productos a base del pinzote de banano, la cual incluye papel, cartón, bloques de notas, libretas, entre otros productos (Martinez, 1999).

También son utilizadas para reforzar materiales compuestos. Debido a su baja dureza, disminuyen el nivel de desgaste en los equipos y tienen propiedades de aislante térmico y acústico, y actualmente han atraído el interés por ser biodegradables, renovables y de bajo costo. Las fibras más fuertes se emplean en la elaboración de cuerdas para barcos, las cuales son muy fuertes y flotan en el agua; las livianas se ocupan en la fabricación de artesanías y pasta para papel, y también se ha propuesto que se utilicen para la filtración de agua residual y como sustrato para el crecimiento bacteriano en la biorremediación de ambientes contaminados (Canto & Castillo, 2011).

La textura depende del tamaño de las fibras, las más largas de las cuales producen un papel más resistente. La calidad de la celulosa de plátano es apta para elaborar también cartón. Los pinzotes, pseudotallos y hojas se deshidratan y muelen para preparar una harina que se utiliza en la alimentación de cerdos y ruminantes, pero las propiedades nutricionales de estas harinas son bajas. Los residuos de las hojas tienen un alto contenido de cenizas y uno bajo de materia orgánica, por lo que su contenido energético es asimismo bajo, así como la proteína. Las hojas, pinzotes y pseudotallos puede emplearse para generar biocombustibles, como el biogás metano o el bioetanol. El primero se obtiene por acción bacteriana en recipientes cerrados, mientras que el segundo se genera mediante la fermentación alcohólica de los azúcares obtenidos de la hidrólisis de la celulosa y hemicelulosa. Para la generación de biocombustibles también pueden aprovecharse los frutos dañados, y para el metano hasta los podridos, siendo así una alternativa para eliminar de las fincas plataneras las hojas infectadas (Canto & Castillo, 2011).

Debido a la capacidad de absorción de algunas fibras naturales, varios grupos o entidades educativas han propuesto distintos proyectos en los que se realizan toallas sanitarias de bajo costo. Estos proyectos son destinados a comunidades de escasos recursos para brindarles mejores oportunidades a niñas y mujeres. Entre los proyectos que se pueden mencionar son:

SHE (Sustainable Health Enterprise): es una organización sin fines de lucro fundada en la Escuela de Negocios Harvard, en donde se determinó una forma efectiva de manufacturar toallas sanitarias de fibra de banano, económicamente accesibles para lugares como Rwanda, India y Uganda, junto con estudiantes de Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT). Este proyecto crea oportunidades de trabajo para mujeres en distintas comunidades. La composición de la toalla sanitaria es básicamente de tres capas: polietileno, fibra de banano y gaza. Realizaron el proceso de manufactura en diferentes etapas o pasos, en las cuales solamente se necesita de dos personas: (APPROVEDIA, 2011).

1. El trabajador No. 1 sostiene el polietileno y la gaza, que se encuentran en rodillos, dentro de la prensa y luego la cierra.
2. El trabajador No. 1 inserta la boquilla del soplador en la abertura de las dos capas y enciende el interruptor donde se activa el calor de la prensa, para sellar tres bordes de la toalla sanitaria, y el soplador, el cual inserta la fibra de banano entre las dos capas.
3. El trabajador No. 2 corta porciones de fibra de banana para una toalla sanitaria al final del soplador.
4. Cuando la toalla sanitaria se encuentra llena, el trabajador No. 1 apaga el interruptor y remueve la boquilla del soplador. Luego sella el final de la toalla sanitaria.
5. El trabajador No. 1 levanta la prensa y corta la toalla formada del resto de gaza y polietileno.

Este proceso se diseñó específicamente para cubrir las necesidades de las mujeres en Rwanda. El proceso descrito anteriormente se nombró como "Komera", el cual significa fuerza para las mujeres. El equipo diseñado por MIT para realizar el proceso es capaz de producir cinco toallas sanitarias por minuto y tiene un costo total de \$1250 (APPROVEDIA).

Jani Pads: el jacinto de agua ha sido fuente de muchos problemas en el Lago Victoria (Kenya) y una gran cantidad de dinero se ha invertido en tratar de eliminar la planta de la superficie del agua, debido a que es una especie invasora. Debido a esto los estudiantes de la Universidad Tecnológica Chalmers, en Suecia, crearon un proyecto para la elaboración de una toalla sanitaria a base de fibra de jacinto. La fabricación local de dicho producto proporciona a las niñas y mujeres acceso a los productos de higiene personal necesarios. Dichas toallas sanitarias cuentan con cuatro capas diferentes. Las capas externas están fabricadas con plástico biodegradable, mientras las dos capas internas se fabrican con jacinto. (Jany, 2016)

Para el proceso de producción de las capas de jacinto se imitó el proceso en planta piloto de producción de papel. Como primer paso se utilizó una máquina para romper las fibras de jacinto y

crear la pulpa. Dicho equipo utiliza agua y aproximadamente 200 gramos de jacinto seco; y opera por media hora. Luego se coloca la pulpa obtenida en un contenedor y se diluye con más agua. Se agrega un agente de encolado, cera AKD, en una pequeña proporción para que el papel obtenido sea parcialmente repelente al agua. Después se obtiene el papel sumergiendo un molde en el contenedor con pulpa y levantándolo suavemente. La masa de papel mojado se presiona contra una pieza de textil, el cual se deja secar horizontalmente por un par de días (Jany, 2016).

Ilustración 11. Equipo de manufactura diseñado por MIT, para fabricar toallas sanitarias diseñadas por SHE.



Makapads: el Dr. Moses Musaaizi, junto con la Universidad Makerere, en Uganda, comenzaron un proyecto para proveer toallas sanitarias efectivas y a bajo costo. Son hechas a base de papiro local y papel reciclado; las fibras son molidas, secadas y suavizadas sin utilizar electricidad. Son ensambladas con una barrera contra la humedad y una cubierta de mesh. Tienen un 95% de biodegradabilidad y están disponibles en dos presentaciones: con adhesivo o con elástico especial para sostener la toalla sanitaria (Technology for tomorrow, 2016).

El proceso de producción comienza con el corte del papiro, se pela la cobertura verde y se utiliza el vástago o tallo blanco restante. Este luego se pasa por un molino de martillos para suavizarlo y tritararlo, se seca bajo el sol y luego pasa a la siguiente etapa. Esta consiste en el procesado de papel, en donde el papiro seco se mezcla con agua y papel reciclado. La mezcla obtenida se coloca en un contenedor rectangular para secarla, utilizando luz solar, en una estructura triangular de metal. Luego de que la mezcla ha secado, pasa por un molino de rodillos en el cual se logra la suavización y textura del papel. El papel se corta en toallas de 5 x 20 cm utilizando un cortador de papel. Por último se sellan, dentro de un material de empaque, se exponen a luz ultravioleta para matar cualquier bacteria o germen que pueda estar en las toallas sanitarias durante el proceso de producción y se coloca el adhesivo. (Technology for tomorrow, 2016)

Ilustración 12. Estructura de metal utilizada para el secado y molino de rodillos para la suavización y textura, utilizados en Makapads.



Saathi: es una empresa que diseñó un proceso de fabricación a pequeña escala de toallas sanitarias a partir de fibra de banano en India. La toalla sanitaria está formada por la pulpa obtenida de la fibra de banano, con una capa de polipropileno y polietileno que la recubre, también cuentan con alas y adhesivo en la parte que tiene contacto con la ropa interior. Dichas toallas sanitarias son esterilizadas después de ser armadas. Saathi se dirige a la población rural y ofrece oportunidades de empleo a mujeres (Saathi, 2016).

Jayaashree Industries: es una empresa que comercializa máquinas y pequeñas líneas de producción de toallas sanitarias a mujeres rurales en India. Este producto se caracteriza por su bajo costo de producción y sencillez de elaboración. Las toallas sanitarias no son biodegradables; se realiza de forma sencilla y rápida con ayuda de una máquina sencilla creada especial para este proceso. Se inicia con la molienda de un material adsorbente el cuál constituirá la parte interna de la toalla, luego este material molido es compactado en una forma rectangular y posteriormente es envuelto en un material antibacterial. Finalmente se introduce en una máquina para poder desinfectarla en 30 segundos.

## VI. METODOLOGÍA

### A. Caracterización de pinzote de banano

Se realizó de forma cualitativa y cuantitativa.

1. **Análisis cualitativo.** Se determinó la degradación que presentaron los pseudotallos, de acuerdo Cuadro 4. Éstas observaciones se realizaron en el momento de la recepción y cada día durante su almacenamiento con lo que se determinó el tiempo máximo que podía ser guardado hasta que se comenzara a degradar. Los datos se fueron tabulando según Cuadro 5.

Cuadro 8. Criterio para determinación de degradación en el tiempo

Escala	Descripción	Porcentaje de degradación
1	Color verde, firmeza dura, sin pérdida de líquidos y inodoro.	20%
2	Color amarillo, pérdida de firmeza, segregación de líquidos.	40%
3	Color café, blando con textura ligosa y olor desagradable.	60%
4	Color negro, firmeza suave, capas de tronco seco	80%
5	Degradación total	100%

Cuadro 9. Evaluación de degradación en el tiempo

Fecha	Almacenado a la intemperie con exposición solar	Almacenado en bodega sin exposición solar
	Escala	

Observaciones: \_\_\_\_\_

---

La experimentación tuvo una duración de tres meses, las primeras dos semanas se tomaron nota de todas las características mencionadas, luego el período de observación fue realizado una vez a la semana hasta que se culminaran los tres de experimentación. Además de las observaciones se tomaron datos iniciales y finales del peso y datos finales de la deformación que sufrieron los pseudotallos debido a la degradación, con el propósito de comparar efectos de descomposición en el tiempo, ya que no se degradaron totalmente.

## 2. Experimentación cuantitativa

Cuadro 10. Equipo utilizado en la prueba cuantitativa de los pseudotallos

Equipo	Marca	Incertidumbre	Rango
Balanza	Detector	±0.5 lb	500 lb
Metro	Stanley	±0.05 cm	0.05-500 cm.

Con el metro se tomaron medidas para determinar el largo, perímetros de ambos extremos y diámetros de cada pseudotallo; El diámetro se midió con la línea más prolongada, con la circunferencia se determinó además un diámetro de forma indirecta para ambos extremos; con la balanza se pesaron; los datos obtenidos se compararon con los valores bibliográficos característicos de los pseudotallos del género Musa.

Ecuación No. 1 Determinación de diámetros

$$Diámetro = \left( \frac{circunferencia}{2\pi} \right) \times 2$$

### 3. Contenido de humedad

Cuadro 11. Equipo utilizado en la determinación de contenido de humedad

Equipo	Marca	Incertidumbre	rango
Vernier	Stanley	$\pm 0.01\text{mm}$	0.01 – 300 mm
Balanza de humedad	BOECO	$\pm 0.001\text{g}$	0.001-200 g

Para determina la humedad se cortaron cuadrados de fibra y se determinó sus dimensiones con un vernier; las dimensiones fueron aproximadamente de 10x10 m, el espesor original de la fibra no se modificó. Una vez cortada la muestra se prosiguió a introducirla en la balanza de humedad a una temperatura de 140 °C, se programó la balanza para determinar el porcentaje de humedad en la muestra.

### B. Caracterización de fibra cruda

Consistió en la realización de siete pruebas. Se realizaron para muestras de la fibra más externa, media y más cercana al centro.

#### 1. pH

Cuadro 12. Equipo utilizado en la determinación de pH

Equipo	Marca	Incertidumbre	Rango
Potenciómetro	AB15 Plus	$\pm 0.001$	0.000 -14.000
Balanza analítica	BOECO	$\pm 0.0001\text{g}$	0.0001-220 g

Cuadro 13. Cristalería utilizada en la determinación de pH

Equipo	Marca	incertidumbre	Capacidad
Beakers	Kimax	$\pm 10\text{ mL}$	100 mL
Varilla de agitación	N.A.	N.A.	N.A.

Cuadro 14. Reactivos utilizados en la determinación de pH

	Marca	pureza
Agua destilada	Salvavidas	N.A.

Se sumergió una muestra seca de fibra de 0.5000 gramos en 50 cm<sup>3</sup> de agua destilada, se agitó por un minuto y dejó reposar por 10 minutos. Luego se anotó el valor del pH una vez que la lectura del equipo estabilizara. El mismo procedimiento se llevó a cabo para las pruebas con el prototipo de la toalla sanitaria construido.

## 2. Contenido de cenizas

Cuadro 15. Equipo utilizado en la determinación de contenido de ceniza

Equipo	Marca	Incertidumbre	Rango
Mufla	ThermoLyne	±1 °C	1 – 1000 °C
Balanza analítica	BOECO	±0.0001g	0.0001-220 g
Estufa	CIMAREC	±1 °C	1 – 600 °C
Horno	Gallenhamp	±10 °C	30-200 °C
Campana de extracción	N.A	N.A.	N.A.
Tijeras	Maped	N. A.	N.A.

Cuadro 16. Cristalería utilizada en la determinación de contenido de ceniza

Equipo	Marca	Incertidumbre
Crisoles	N.A	N.A

El contenido de cenizas se determinó en muestras secas con peso de 0.5000 -1.0000 gramos. Las muestras fueron cortadas con tijeras en cortos pedazos aproximadamente de 0.05 cm de longitud, previo a la mufla se colocaron las muestras en una estufa dentro de una campana para quemar las muestras; se colocaron en una mufla a 550 °C durante 4 horas, luego se prosiguió a enfriar las muestras temperatura ambiente en una desecadora y se determinó el peso de las cenizas.

Ecuación No. 2

$$\% \text{ Ceniza} = \frac{\text{peso de ceniza}}{\text{peso muestra inicial}} \times 100$$

### 3. Densidad

Cuadro 17. Equipo utilizado en la determinación de densidad

Equipo	Marca	Incertidumbre	Capacidad
Máquina centrífuga	DAMON IEC	N.A.	N.A.
Balanza Analítica	BOECO	±0.0001g	0.0001-220 g
Bomba de vacío	SUCH	N.A.	15 PSI
Motor para bomba de vacío	Baldor	N.A.	3 HP

Cuadro 18. cristalería utilizada en la determinación de densidad

Equipo	Marca	Incertidumbre	Capacidad
probetas	Kimax	±0.05mL	50 mL
Beacker	Kimax	±10 mL	100 mL

Cuadro 19. Reactivos utilizado utilizados en la determinación de densidad

	Marca	Pureza
Aceite de Canola	Wesson	100

Las muestras se secaron durante 72 horas a 60 °C, se pesaron las muestras y se sumergieron en una probeta que contenía 25 cm<sup>3</sup> de aceite de canola, durante un minuto. Se armó un sistema como se muestra en la figura No.28, página 104 en sección de anexos Se aplicó vacío de 15 psi durante cinco minutos, luego se prosiguió a dar lectura del volumen desplazado en la probeta, ya que este volumen es equivalente al volumen de la fibra se determinó la densidad con la ecuación No. 3.

Ecuación No. 3 Determinación de densidad

$$\rho = \frac{\text{masa de fibra inicial}}{\text{volumen desplazado}}$$

#### 4. Capacidad de retención de agua

Cuadro 20. Equipo utilizado en la determinación de capacidad de retención de agua

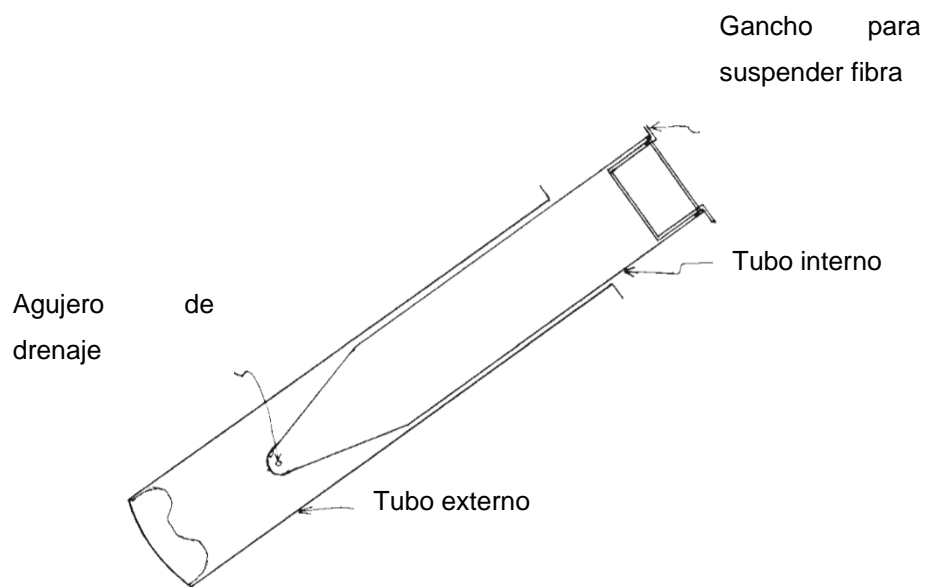
Equipo	Marca	Incertidumbre	Rango
Máquina centrífuga	N.A	N.A	N.A
Tacómetro	ExTech	$\pm 0.1$	2-9,999 rpm
Balanza analítica	BOECO	0.0001 g	0.0001 -220 g
Horno	Gallenhamp	$\pm 10$ °C	30-200 °C

Cuadro 21. Reactivos utilizados en la determinación de capacidad de retención de agua

	Marca	Pureza
Agua destilada	Salvavidas	N.A.

Se secó la fibra durante una hora y media a 105-110 °C, luego se determinó el peso seco de la muestra y se prosiguió a sumergirla en agua destilada durante 5 minutos, finalizado el tiempo se montó el sistema como se muestra en la Ilustración 9

Ilustración 13. Sección transversal de sistema de tubos para centrífuga.



(ASTM .. , 2001)

El sistema de tubos se centrifugó a una aceleración radial de 9,8000 m/s<sup>2</sup> lo cual se calibró con el uso de la ecuación No. 4.

Ecuación No. 4 Cálculo de revoluciones por minuto en máquina centrifugadora.

$$n = (8.943 \times 10^6 \times \frac{1}{r})^{\frac{1}{2}}$$

***n = revoluciones por minuto***

***r = distancia radial de la masa de la fibra con el centro de rotación en mm.***

Luego de los cinco minutos se pesaron las muestras húmedas y con la ecuación No. 5 se determinó el porcentaje de retención de agua. Metodología según ASTM D 2402 Standard Test Method for Water Retention of Textile Fibers (Centrifuge Procedure).

Ecuación No. 5 porcentaje de agua absorbida

$$\% \text{ agua absorbido} = \frac{\text{peso húmedo} - \text{peso seco}}{\text{peso seco}} \times 100$$

## 5. Análisis químico

Cuadro 22. Equipo utilizado en el análisis químico

Equipo	Marca	Incertidumbre	rango
Estufa	CIMAREC	±1 °C	1 – 600 °C
Balanza analítica	BOECO	0.0001 g	0.0001 -220 g
Horno	Gallenhamp	±10 °C	30-200 °C
Campana de extracción	N.A	N.A	N.A

Cuadro 23. Cristalería utilizada en el análisis químico

	Marca	Incertidumbre	Capacidad
Filtros de vidrio	Pyrex	N.A.	N.A.
pipetas	Pirex	±0.03 mL	25 mL
Balones aforados	Marienfeld	±0.4 mL	1000 mL
Beacker	Merienfeld	±25 mL	250 mL

Cuadro 24. Reactivos utilizado en el análisis químico

	Marca	Pureza
Agua destilada	Salvavidas	N.A
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Pro Analysis	95-97%
KOH	Merck	85%

Se utilizó un método directo de celulosa, hemicelulosa y lignina. Se pesaron muestras de 2 gramos y luego fueron hervidas en etanol durante 15 minutos 4 veces, se lavaron con agua destilada y se secaron en horno a 40 °C durante toda la noche; Luego la muestra se dividió en dos parte en donde la primera es considera la fracción A y la segunda parte se trató con una solución de hidróxido de potasio al 24% durante 4 horas a 25 °C, se lavó con agua destilada y se secó en el horno a 80°C durante toda la noche El peso de esta fracción es considerado fracción B. Luego esta misma muestra fue tratada con una solución de ácido sulfúrico al 72% por tres horas y finalmente se expuso a reflujo con una solución de ácido sulfúrico al 5% por dos horas. Se lavó con agua destilada y se secó a 80 °C en el horno durante toda la noche, el peso leído fue fracción C. (Moubasher & Colaboradores, 1982)

Ecuación No. 6 Determinación de celulosa y hemicelulosa

$$\mathbf{Celulosa = B - C}$$

$$\mathbf{Hemicelulosa = A - B}$$

$$\mathbf{Lignina = C}$$

## 6. Análisis microbiológico

Cuadro 25. Equipo utilizado en el análisis microbiológico

	Marca	modelo
incubadora	USAID	Imperial III
Autoclave	Napco	8000-DSE

Cuadro 26. Cristalería utilizada en el análisis microbiológico

	Marca	Incertidumbre	Capacidad
Pipetas	Pyrex	±0.10 mL	10 mL
Beakers	Merinfeld	±25 mL	250 mL
Balones aforados	Pyrex	±0.5 mL	2000 mL
Varilla de agitación	N.A	N.A	N.A.

Cuadro 27. Reactivos utilizado en el análisis microbiológico

	Marca	Pureza
Peptona	Merck	N.A
Petrifilm de UFC	3M Petrifilm Aerobic Count Plates 6400/6403/6406/6442	N.A

Se preparó una solución de peptona al 0.1% la cual se esterilizó en un la autoclave, una vez enfriada se sumergió 1 gramo de la fibra seca en 99 mL de la solución, se agitó durante un minuto; se agregó 1 mL de esta dilución en petrifilms para conteo de unidades formadoras de colonias los cuales se incubaron a 30 °C durante 72 horas. luego de 72 horas de incubación se determinó las UFC. El mismo procedimiento se llevó a cabo para las pruebas con el prototipo de la toalla sanitaria construido.

El recuento total de microorganismo se expresa como número de microorganismo por gramo de muestra (unidades formadoras de colonias por gramo) y se calcula con la siguiente ecuación:

Ecuación No. 7 Conteo de UFC

$$\frac{UFC}{g} = \frac{Número\ de\ Colonias\ x\ Factor\ de\ dilución}{Masa\ de\ la\ muestra}$$

## 7. Biodegradabilidad

Cuadro 28. Equipo utilizado en la determinación de biodegradabilidad

Equipo	Marca	Incertidumbre	Rango
Balanza analítica	BOECO	0.0001 g	0.0001 -220 g
Horno	Gallenhamp	±10 °C	30-200 °C
potenciómetro	pHTestr20	±0.01	0.00-14.00

Cuadro 29. Cristalería utilizada en la determinación de biodegradabilidad

	Marca	Incertidumbre	Capacidad
beakers	Merinfeld	±25 mL	250 mL
Varilla de agitación	N.A	N.A	N.A
probeta	BitLab	±0.20 L	2000 mL

Cuadro 30. Reactivos utilizado en la determinación de biodegradabilidad

Equipo	Marca	pureza
Agua destilada	Salvavidas	N.A
Etanol	Bathen	99.99 %

Se pesaron muestras secas de fibra y se enterraron durante 80 días. La tierra se mantuvo a una humedad aproximada de 20%. La fibra se enterró 5 cm debajo de la superficie. Cada muestra se enterró en un sistema aislado, ver Ilustración No. 15 página 95, sección de anexos. Se tomaron los pesos de las muestras degradadas a los 30, 60 y 80 días. Previo al pesaje se lavaron con una solución de etanol-agua al 70 % v/v y se secaron en horno a 80 °C durante 24 horas, luego se determinó el peso nuevo con una balanza analítica. El mismo procedimiento se llevó a cabo para las pruebas con el prototipo de la toalla sanitaria construido.

El porcentaje del peso perdido se determinó con la ecuación No. 8

Ecuación No. 8 porcentaje de pérdida de peso

$$\% \text{ peso perdido} = \frac{\text{peso inicial} - \text{peso degradado}}{\text{peso inicial}}$$

## C. Caracterización de materia prima ya tratada

Se determinó la prueba de flexión como propiedad mecánica de la toalla sanitaria construida a partir de la fibra de banano.

### 1. Propiedades mecánicas

Cuadro 31. Equipo utilizado en las pruebas mecánicas de flexión

Equipo	Marca	Incertidumbre	rango
Sensor ultrasónico	GICK	$\pm 0.01$ mm	0.00-4000mm

Las propiedades mecánicas de flexión fueron realizadas en el laboratorio de resistencia de materiales I de la Universidad del Valle. Se colocó la toalla sanitaria con tres puntos de apoyo, dos de soporte y uno de carga. Como se muestra en la Ilustración 7 página 18 sección de Marco Teórico. Se adicionó peso sobre el punto de carga central como un peso puntual, hasta que el punto de flexión fuera el máximo esfuerzo, la detección de la deformación fue determinada con un equipo ultrasónico el cual fue colocado en la parte inferior del sistema quedando a una distancia conocida debajo de la toalla sanitaria. Ver Ilustración No. 38 página 109, sección de anexos.

## D. Extracción de fibra de banana

El equipo que se utilizó en la extracción es el siguiente:

Cuadro 32. Equipo para la extracción de fibra de banano

Equipo	Cantidad
Cuchillo de acero inoxidable	1
Tabla de madera de 12X16 in	1
Guantes de latex	1
Molino de rodillos*	1
Mesa de trabajo	1

\*Las especificaciones del equipo se encuentra en la sección de apéndice, datos de placa.

En el proceso de extracción primero se recibe el pinzote y se limpia si trae alguna suciedad como por ejemplo lodo. Seguido de esto se debe de cortar la epidermis del pinzote y se corta en piezas manejables aproximadamente de 60 cm de longitud y 10 cm de ancho. Los pedazos se pasan por el molino de rodillos donde se les extrae el agua y después el operador se debe de colocar los guantes y raspar con la ayuda de cuchillos para separar la fibra de los haces conductores liberoleñosos. La fibra extraída se debe de limpiar bien hasta obtener una fibra blanca.

Se determinó la masa inicial de los tallos de banano, utilizando una balanza digital con capacidad de 1,000 kg ( $\pm 0.01$  kg), y dimensiones (largo y diámetros) de los tallos, con la ayuda de una cinta métrica ( $\pm 0.01$  m). Para esto, se taró la balanza, se colocó el tallo y se obtuvo la lectura de la masa. Para las dimensiones, se determinó el largo midiendo con la cinta métrica de un extremo otro y lo diámetros de los dos extremos, asegurando de centrar la cinta. Luego se cortó la primera capa del tallo (epidermis) y se obtuvo trozos de las capas siguientes, aproximadamente de 1.0 x 0.15 m, utilizando un cuchillo. Se utilizó un molino de rodillos lisos (3/4 HP) para extraer al agua y suavizar los trozos del tallo. Se aseguró de cuantificar el agua residual y residuos sólidos obtenidos en esta etapa, para lo que se recolectó el agua residual del molino de rodillos en una cubeta de polietileno, al igual que los residuos sólidos (epidermis del tronco y centro del tronco) y se determinó la masa utilizando la balanza digital mencionada.

Se utilizaron cepillos de cerdas metálicas y cuchillos para extraer la fibra de cada trozo del tallo, con un movimiento paralelo al trozo. Al terminar todos los trozos, se determinó la masa de los residuos sólidos y líquidos obtenidos de la extracción, así como de la fibra obtenida; para esto se utilizó nuevamente una balanza digital. Se repitieron estos pasos con todos los tallos de banano (aproximadamente 3, para obtener los datos para los balances en triplicado). Se cuidó de cuantificar toda la fibra y residuos extraídos para no afectar el balance de masa. También se determinó el tiempo de cada extracción utilizando un cronómetro.

## E. Tratamiento de fibra

Entre todos los tratamientos descritos se va a evaluar en base a los resultados obtenidos y un análisis de costo beneficio que tratamiento tiene mejores resultados. Se realizaron las correcciones de las temperaturas en base a la altura del departamento de Escuintla (altitud de 350 m en promedio).

El equipo que se utilizó para poder llevar a cabo los procedimientos fue el siguiente:

Cuadro 33. Equipo para la realización de los tratamientos

Equipo	Cantidad
Olla acero inoxidable 15 galones con tapadera	1
Cubeta plástica multiusos de 5 galones	2
Paleta plástica para altas temperaturas	2
Tijeras de acero inoxidable	1
Resistencia eléctrica*	1
Licadora Industrial*	1
Balanza (0-25 Kg)*	1

\*Las especificaciones del equipo se encuentra en la sección de apéndice, datos de placa.

1. **Tratamiento mecánico.** Se corta el pinzote, se extrae y limpia la fibra como se describió en el paso 2. Se corta la fibra en pedazos de 1 cm de largo para introducir en una licuadora industrial con 30 partes de agua por una parte de fibra por cinco min.

2. **Tratamiento térmico.** Este tratamiento se llevó a cabo en dos vías:

a. Los pedazos de pinzote se calientan con agua a temperaturas de 88.9-98.5°C. Después se extra y limpia la fibra como se describió en el paso 2.

b. Se corta el pinzote, se extrae y limpia la fibra como se describió en el paso 2. La fibra se calienta con agua a temperaturas de 88.9-98.5°C.

3. **Tratamiento químico.** Se corta el pinzote, se extrae y limpia la fibra como se describió en el paso 2. Se aplica el método Kraft, los pasos son los siguientes:

a. **Impregnación.** Este paso consiste en impregnarle a la fibra el licor blanco el cual es una solución de hidróxido de sodio 15% (temperatura de bajo de 98.5 °C). La solución

se realiza en base a diez partes de agua por una parte de fibra extraída y se revuelve hasta obtener una consistencia homogénea.

b. Cocimiento: La fibra se cose por 4 horas a temperaturas de 128.9-178.9°C.

c. Lavado: La pasta marrón se lava para que los licores de cocción utilizados se separen de las fibras de celulosa. Se realizan diez etapas de lavado en serie (10 Kg de agua por etapa de lavado) con una solución de agua y limón con pH de 6.

Se va a aplicar el mismo método basado en el proceso soda con la variante de utilizar carbonato de calcio y variando la solución de 30%, 25%, 10% y 5% (p/p) en 10 Kg de agua y los tiempos de reacción de 0-4 horas en intervalos de 0.5 horas para verificar los resultados.

## F. Realización de pasta celulósica y bobinas

El equipo que se utilizó para poder llevar a cabo los procedimientos fue el siguiente.

Cuadro 34. Equipo para la realización de bobinas

Equipo	Cantidad
Pila con 3 marcos de un mínimo de 22X20 in y 200 galones de capacidad	1
Marco tamizador de 19X14 in mesh 30	2
Nilón negro 5 yardas	1
Cubeta plástica multiusos de 5 galones	2
Potenciómetro portátil*	1

\*Las especificaciones del equipo se encuentra en la sección de apéndice, datos de placa.

Después de obtener la pasta celulósica por cualquiera de los procesos antes mencionados o una combinación de los mismos. La pasta celulósica obtenida se coloca en una pileta a pH de 6 agregando jugo de limón. El bastidor se va sumergiendo en la pileta y se crean las bobinas. Estas se ponen a secar a la intemperie con encima del nylon.

Para las lotes de producción, se determinaron los tiempos de elaboración de la película, cantidad de fibra y agua utilizados en cada corrida por cada lote. Además, se determinó la temperatura ambiente y humedad relativa con un barómetro digital.

## G. Mediciones cuantitativas de realización de pasta celulósica

Al tener el proceso con el que se obtuvo un mejor resultado se realizó en triplicado (tres lotes de producción), como se mencionó anteriormente, para lograr obtener los balances de masa y energía, y escalar el proceso de forma adecuada. Con lo que se obtienen tiempos, eficiencias y cantidades obtenidas de cada etapa del procedimiento.

Al culminar esta proceso, se realizaron varias etapas necesarias para llegar cumplir con un prototipo final de toalla sanitaria a partir de los pliegos de bobina obtenidas del pinzote de banano.

## H. Investigación para la elaboración de una toalla sanitaria

Se realizó una investigación previa para adquirir conocimientos necesarios sobre la construcción de una toalla sanitaria convencional, diferentes modelos y marcas. Sus diferentes diseños, materiales, tamaños, espesores, la cantidad de capas utilizadas, etc. Las toallas sanitarias funcionan de manera muy similar, aunque varían algunos detalles mínimos. Los materiales que se utilizan para su manufactura son bastante similares. Se investigó sobre proyecto similares que se estuvieran realizando en el mundo, como en el caso de las siguientes marcas: Jani Pads, She, Saathi, Maka Pads, etc.

Se consultaron las normas establecidas por la Comisión Guatemalteca de Normas (COGUANOR), las cuales hacen referencia a la capacidad de absorción, velocidad de absorción, pH y control microbiológico de los productos higiénicos. Así como también se utilizó información recopilada de otros estándares internaciones para el diseño de toallas sanitarias. Se realizó una recopilación bibliográfica que se utilizó a lo largo de todos los procedimientos. El presente trabajo ha tenido un enfoque práctico, por lo que se tuvo la posibilidad de hacer varias pruebas, realizaron varios prototipos, para posteriormente ser evaluados. El desarrollo del producto se trabajó en paralelo con diferentes fases del proceso, con frecuencia se tuvieron que reconsiderar nuestros procesos y el diseño planteado para la toalla sanitaria. Con los resultados obtenidos en cada evaluación, se generaron nuevas ideas, para posteriormente mejorar los primeros prototipos planteados.

## I. Desarrollo de la toalla sanitaria

La fase de desarrollo constó de varias etapas, en la cuales se fueron modificando las dimensiones de la toalla sanitaria, forma de elaboración, etc. Se realizaron patrones para obtener medidas exactas de cada capa que conforma la toalla sanitaria y que las dimensiones de cada una fueran las misma. Los patrones fueron realizados con una cortadora marca Silhouette Cameo.

## J. Evaluación de la toalla sanitaria terminada

Se establecieron los parámetros que se requieren para el control de la calidad del producto terminado, de acuerdo a las regulaciones establecidas por las normas guatemaltecas obligatorias COGUANOR (Comisión guatemaltecas de normas) NGO 46 031, NGO 46 032 h1, NGO 46 032 h2, NGO 032 h3, las cuales hacen referencia a la capacidad de absorción, velocidad de absorción, pH y control microbiológico de los productos higiénicos.

1. Solución Meds. Esta solución es la que se utilizó para realizar las posteriores pruebas de absorción.

Cuadro 35. Cristalería y equipo utilizado para la elaboración de la solución Meds

Descripción del equipo o cristalería	Marca	Rango de operación
Probeta	IVA	100 ± 0.05 mL
Balanza analítica	BOECO Germany	0 - 220 ± 0.0001 g.
Estufa con agitador magnético	CIMAREC	0 - 540°C 60 - 1200 rpm

En un beaker de 1000 mL se agregó 600 ± 0.05 mL de agua destilada. Posteriormente este beaker se colocó en una estufa con agitación, se agregó lentamente 0.4000 ± 0.0001 g de butil parabeno y 74.0000 ± 0.0001 g de goma arábica, se agito hasta que se disolvieran. Se dejó la solución en reposo durante dos horas, después se filtró (Ilustración 11, página 67).

Al filtrado se le agrego 100 ± 0.05 mL de agua, con agitación constante se añadió lentamente 0.9500 ± 0.0001 g de colorante rojo. Una vez disuelto se agregó 147 ± 0.05 mL de

glicerina y se mantuvo la agitación durante 30 minutos. Luego se agregó  $8.4800 \pm 0.0001$  g de cloruro de sodio y se agito nuevamente durante 30 minutos (Ilustración 12, página 68).

**2. Capacidad de absorción.** La capacidad de absorción se expresa en mililitros de solución Meds absorbidos por cada toalla sanitaria, corresponde al volumen leído en la bureta. El resultado final es el promedio de los valores obtenidos en cada corrida.

Cuadro 36. Cristalería y equipo utilizado para pruebas de absorción

Descripción del equipo o cristalería	Marca	Rango de operación
Probeta	IVA	$100 \pm 0.05$ mL
Bureta	Brand	$50 \pm 0.05$ mL
Balanza analítica	BOECO Germany	$0 - 220 \pm 0.0001$ g.
Horno	Gallenhamp	$30 - 200 \pm 10$ °C

Debido a que el peso puede ser variacional por la humedad en el ambiente, se acondicionaron las muestras en un intervalo de tiempo de una hora, con esto se obtuvo una recurrencia uniforme en los pesos. Se colocó cada toalla en un beaker de 1000 mL y se ajustó la toalla al mismo para generar una curvatura (Ilustración 13, página 68). Se verificó que la toalla quedara lisa y libre de arrugas. Se llenó la bureta con la solución Meds, previamente preparada, se colocó por encima de la toalla a una distancia aproximada de 2 cm. Se dejó fluir sobre la toalla el líquido de la bureta (Ilustración 14, página 69). En el momento que la solución se rebalsara por los extremos o llegara a la última capa se cerró la llave de la bureta y se leyó el volumen consumido de solución. El mismo procedimiento se repitió para las demás muestras.

**3. Velocidad de absorción y factor de capacidad de absorción.** La velocidad de absorción es el tiempo necesario para que se difunda agua a través del espesor de una toalla sanitaria. El factor de absorción se calcula con la masa de agua que una toalla sanitaria es capaz de absorber, en relación a su propia masa.

Cuadro 37. Cristalería y equipo utilizado para determinar velocidad y capacidad de absorción

Descripción del equipo o cristalería	Marca	Rango de operación
Balanza semianalítica de un plato	Scout Pro	0 - 2000 $\pm$ 0.01 g.
Cronómetro	Casio	$\pm$ 0.01 s.
Horno	Gallenhamp	30 - 200 $\pm$ 10 °C

Debido a que el peso puede ser variacional por la humedad en el ambiente, se acondicionaron las muestras en un intervalo de tiempo de una hora, con esto se obtuvo una recurrencia uniforme en los pesos. Se cortó a lo ancho de cada toalla un pedazo de aproximadamente 42 cm<sup>2</sup> (Ilustración 16, página 70). Se agregó 300 mL de agua en un beaker de 1000 mL.

Se pesó la muestra antes de sumergirla en agua. Utilizando pinzas se colocó cada espécimen suavemente sobre la superficie del baño de agua y simultáneamente se empezó a correr el tiempo en el cronómetro (Ilustración 17, página 70). En el momento en que la muestra se mojó completamente se detuvo el cronómetro y se registró este valor, se removió el exceso de agua. Se pesó la muestra después de mojarla. El mismo procedimiento se repitió para las demás muestras.

La velocidad de absorción se expresa en segundos, el resultado final es el promedio de las mediciones realizadas. El factor de capacidad de absorción se expresa en gramos de agua absorbida por gramo de toalla sanitaria y se calcula con la fórmula 1. El resultado final es el promedio de los valores calculados.

## K. Balances de masa y energía

Con los datos recolectados en la producción de los tres lotes en la planta piloto, se realizaron promedios para poder obtener las entradas y salidas de cada subproceso. Con esto se realizaron balances de masa y energía para la línea de producción de planta artesanal. Se cotizaron los equipos y materiales utilizados, así como los insumos del proceso para estimar los costos mensuales (28 días) y anuales. Se elaboraron diagramas del proceso a partir de dichos balances. Y por último se determinó la escalabilidad del proceso propuesto utilizando

las conversiones encontradas en el proceso de producción en planta artesanal. Además de seleccionar y dimensionar el equipo adecuado para el proceso industrial.

## VII. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Cuadro 38. Cronograma de actividades realizadas durante el trabajo

Actividad	jul-15	ago-15	sep-15	oct-15	nov-15	dic-15	ene-16	feb-16	mar-16	abr-16	may-16	jun-16	jul-16	ago-16	sep-16	oct-16
Investigación																
Extracción de la fibra de banano																
Tratamiento de la fibra y caracterización																
Evaluación del mejor tratamiento																
Realización de pulpa y pliegos y diseño de la toalla sanitaria																
Mediciones cuantitativas y diseño de planta industrial																
Realización de trabajo escrito																

## VIII. RESULTADOS

Cuadro 39. Rango y promedio de dimensiones del pseudotallo

	Largo [cm±0.05 cm]	Perímetro 1 [cm±0.05 cm]	Perímetro 2 [cm±0.05 cm]	Diámetro 1 [cm±0.05 cm]	Diámetro 2 [cm±0.05 cm]	Masa (lb) ±0.05lb	Masa (kg) ±0.02kg
Rango	167.00 - 180.00	72.00 - 91.00	55.00 - 84.00	19.00 - 27.00	16.50 - 23.00	59.50 - 116.00	26.99 - 52.62
Promedio	172.81 ±.02	79.25 ±.02	64.34 ±.02	24.06 ±.02	19.25 ±.02	**	**

\*\* No se determinó un peso promedio debido a que los troncos no presentaban la misma cantidad de días luego de haber sido cortados, factor que influye en el peso debido a la pérdida de humedad.

Cuadro 40. Rango y promedio de diámetros de los pseudotallos calculados de forma indirecta

	Diámetro 1 mediante ecuación [cm±0.05 cm]	Diámetro 2 mediante ecuación [cm±0.05 cm]
Rango	20.37 - 28.97	17.51 - 26.74
Promedio	25.23±.02	20.48±.02

Cuadro 41. Rango y promedio determinadas de porcentaje de humedad de las capas foliares

Muestra	Rango ± 0.02 [%]	Promedio ±0.03 [%]
Capas foliares del centro	96.20 - 96.95	96.47
Capas foliares del medio	93.03 - 94.29	94.00
Capas foliares del exterior	92.60 - 93.49	92.90
Total		94.46±0.05

Cuadro 42. Rango y promedio del pH de la fibra recién extraída.

Muestra	Rango $\pm 0.002$	Promedio $\pm 0.003$
Fibra de la capa foliar del centro	5.730 - 6.094	5.932
Fibra de la capa foliar del medio	5.850 - 6.011	5.923
Fibra de la capa foliar del exterior	5.963 - 6.129	6.054

Cuadro 43. Rango y promedio de la Densidad relativa de la fibra recién extraída.

Muestra	Rango Rango [g/mL]
Fibra de la capa foliar del centro	0.4147 $\pm$ 0.5878 - 0.5721 $\pm$ 0.7089
Fibra de la capa foliar del medio	0.4636 $\pm$ 0.5502 - 0.5042 $\pm$ 0.5942
Fibra de la capa foliar del exterior	0.3614 $\pm$ 0.2983 - 0.4757 $\pm$ 0.5565

Cuadro 44. Rango y promedio del porcentaje de contenido de ceniza en fibras recién extraídas

Muestra	Rango [%]	Promedio [%]
Fibra de la capa foliar del centro	3.8139 $\pm$ 0.0249- 3.9000 $\pm$ 0.0251	3.8427 $\pm$ 0.0472
Fibra de la capa foliar del medio	4.2558 $\pm$ 0.0209- 4.7909 $\pm$ 0.0234	4.6625 $\pm$ 0.0360
Fibra de la capa foliar del exterior	4.0996 $\pm$ 0.0170- 5.1640 $\pm$ 0.0213	4.7851 $\pm$ 0.0328

Cuadro 45. Análisis químico: Rango y promedio del porcentaje de celulosa, hemicelulosa y lignina en las fibras recién extraídas.

Muestra	Celulosa [%]	Hemicelulosa [%]	Lignina [%]
Fibra de la capa foliar del centro	67.1192±0.0271 - 74.0914±0.0339	19.6818±0.030 - 23.8990±0.0250	4.0944±0.0114 - 8.9817±0.0175
Fibra de la capa foliar del medio	70.4815±0.0191 - 71.9415±0.0258	21.2185±0.0232 - 25.0665±0.0174	4.4520±0.0112 - 6.8991±0.0121
Fibra de la capa foliar del exterior	69.1099±0.0177 - 75.6093±0.0313	20.9874±0.0290 - 24.2002±0.0161	2.6321±0.0195 - 6.9566±0.0129
Rango promedio	71.4359±0.0492 - 72.1450±0.0524	22.2057±0.0471 - 22.3601±0.0491	5.6493±0.0330 - 6.2433±0.0311

Cuadro 46. Rango y promedio del porcentaje de retención de agua

Muestra	Rango [%]	Promedio [%]
Fibra de la capa foliar del centro	117.6292±0.6371 - 123.3378±0.8798	120.2146 ±1.1469
Fibra de la capa foliar del medio	142.5487±0.6635 - 162.1352±1.2046	152.5707 ±1.5974
Fibra de la capa foliar del exterior	111.7937±0.7413 - 127.0967±0.8504	121.9108 ±1.2762

Cuadro 47. Prueba de degradabilidad de la fibra recién extraída: Rangos de porcentajes de pérdida de peso en el tiempo.

Muestra	Rango de porcentaje de pérdida de peso [%]		
	30 días	60 días	80 días
Fibra de la capa foliar del centro	26.9036±0.0050 - 36.2456±0.0070	55.4876±0.0055 - 69.47±0.0081	56.5850±0.0062 - 72.9638±0.0082
Fibra de la capa foliar del medio	23.7305±0.0047 - 33.3775±0.0107	41.6538±0.0050 - 57.4750±0.0117	42.4204±0.0050 - 59.4533±0.0118
Fibra de la capa foliar del exterior	20.3400±0.0102 - 33.4408±0.0051	39.0300±0.0107 - 77.8729±0.0061	40.4500± - 78.9076±0.0061

Cuadro 48. Prueba de degradabilidad de la fibra recién extraída: Promedio de porcentajes de degradabilidad en el tiempo

Muestra	Promedio de porcentaje de pérdida de peso [%]					
	30 días		60 días		80 días	
Fibra de la capa foliar del centro	30.6602	±0.0097	61.9942	±0.0109	64.1391	±0.0111
Fibra de la capa foliar del medio	28.8785	±0.0130	51.8635	±0.0142	53.3625	±0.0143
Fibra de la capa foliar del exterior	27.5899	±0.0143	55.6247	±0.0154	57.2546	±0.0155

Cuadro 49. Prueba de flexibilidad de las toallas sanitarias a base de fibra de banano

peso [g]	Deformación ±0.01 [mm]		
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
0	0.00	0.00	0.00
50	1.40	0.50	0.40
100	2.60	1.90	0.90
150	3.30	4.90	1.40
200	5.30	9.10	2.30
250	7.10	<i>15.60</i>	3.60
300	9.30		4.80
350	10.70		6.40
400	13.50		<i>9.50</i>
450	<i>16.40</i>		

Nota: Se muestra en cursiva el punto en donde la toalla sanitaria alcanza una flexión máxima.

Cuadro 50. Prueba de flexibilidad de las toallas nocturnas comerciales

	Deformación $\pm 0.01$ [mm]		
peso [g]	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
0	0.00	0.00	0.00
4.1	0.90	0.40	1.10
8.2	1.40	0.80	1.70
12.3	1.80	1.00	2.40
16.4	2.90	1.50	3.10
20.5	3.80	1.90	3.60
24.6	4.30	2.70	4.40
28.7	5.20	3.40	5.80
32.8	5.80	6.10	8.70
44.8	8.10	8.50	<i>12.90</i>
56.8	10.80	<i>13.30</i>	
68.8	<i>15.20</i>		

Nota: Se muestra en cursiva el punto en donde la toalla sanitaria alcanza una flexión máxima.

Cuadro 51. Prueba de flexibilidad de las toallas de día comerciales

	Deformación $\pm 0.01$ [mm]		
peso [g]	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
0	0.00	0.00	0.00
4.1	4.90	1.00	1.10
8.2	6.30	3.37	2.40
12.3	<i>9.50**</i>	12.60	<i>7.00**</i>
16.4		<i>18.00</i>	

\*\* La toalla sanitaria colapsó únicamente de un extremo.

Nota: Se muestra en cursiva el punto en donde la toalla sanitaria alcanza una flexión máxima.

Cuadro 52. Condensación de datos observados y medidos en el tiempo para los pseudotallos almacenados a dos diferentes condiciones

Pseudotallo de estudio	Largo [cm±0.05 cm]	Masa±0.05lb		pérdida de masa [%]		Degradación alcanzada	Distancia de pérdida de firmeza [cm±0.05 cm]
		Inicial	Final	±0.05	promedio ±0.05		
A	177.00	68.00	35.00	48.53	41.29	4	66.00
B	180.00	94.50	61.00	35.45		4	70.00
C	172.00	94.00	56.50	39.89		4	62.00
D	173.00	87.00	44.50	48.85	39.54	4	120.00
E	173.00	89.00	54.50	38.76		4	90.00
F	167.00	64.50	44.50	31.01		4	100.00

Cuadro 53. Porcentaje de fibra contenido en el cortex del pinzote de banano

No. Tronco	Porcentaje de fibra obtenido
6	3.13±0.04%
3	2.82±0.02%
15	3.61±0.06%

Cuadro 54. Condiciones y resultados de los diferentes tratamientos utilizados para obtener pasta celulósica

Tratamiento	Temperaturas	Reactivos/ equipo	Tiempo	Formación de pasta celulósica
Mecánico**	Ambiente	Licuidora industrial*	5 min	No
Pre-tratamiento térmico y  Mecánico**	88.9-98.5°C  Ambiente	Calor  Licuidora industrial*	2 horas	No
Post-tratamiento térmico y  Mecánico **	88.9-98.5°C  Ambiente	Calor  Licuidora industrial*	2 horas	No
Método Kraft y  Mecánico**	Impregnación: 88.9-98.5°C Cocimiento: 128.9-178.9 ° C  Ambiente	Hidróxido de sodio y calor  licuidora industrial*	4 horas  5 min	Si
Método proceso soda modificado y  Mecánico**	Impregnación:50-60°C cocimiento: 50-60°C  Ambiente	Óxido de calcio y calor  Licuidora industrial*	4 horas  5 min	Si

\*Las especificaciones del equipo se encuentra en la sección de apéndice, datos de placa.

\*\*Los pasos llevados a cabo en cada tratamiento se encuentran detallados en la sección de apéndice, procedimiento.

Cuadro 55. Costo de tratamiento por el método Kraft y mecánico con base en materia prima

Materia prima	Cantidad	Costo	Costo TOTAL (Q)
Hidróxido de sodio*	1.5 Kg	15.43 Q/Kg	18.05
Agua**	107.8 Kg	0.0024 Q/Kg	0.26
Limón	1 unidad	0.10 Q/unidad	0.10
		TOTAL	18.41

\*Solución de hidróxido de sodio al 15% en base a 10 partes de agua por 1 parte de fibra extraída. Lote 1: 0.78 kg de fibra extraída, 7.8 kg de agua y 1.17 Kg de hidróxido de sodio.

\*\*Agua: sumatoria de 7.8 Kg de agua utilizada para la solución y 10 Kg de agua por etapa de lavado (10 etapas).

Cuadro 56. Costo de tratamiento por el método Kraft y mecánico con base en consumo eléctrico de equipo.

Equipo	Cantidad	Tiempo de encendido (h)	Consumo Eléctrico (Kw)	Costo de la electricidad Finca Primavera (Q/Kwh)	Costo TOTAL (Q)
Resistencia**	1	4.0	1.5	1.18	7.08
Licadora Industrial**	1	0.5*	5.25	1.18	3.10
				TOTAL	10.18

\*Con base en el lote 1 en licadora, 6 lotes por 5 min= 30 min=0.5 hora.

\*\*Las especificaciones del equipo se encuentra en la sección de apéndice, datos de placa.

Cuadro 57. Costo de tratamiento por el método proceso soda modificado y mecánico con base en materia prima

Materia prima	Cantidad	Costo	Costo TOTAL (Q)
Oxido de calcio*	2.34 Kg	1.79Q/Kg	4.19
Agua**	17.8 Kg	0.002 Q/Kg	0.04
Limón	1 unidad	0.10 Q/unidad	0.10
		TOTAL	4.33

\*Solución de óxido de calcio al 30% en base a 10 partes de agua por una parte de fibra extraída. Lote 1: 0.78 kg de fibra extraída, 7.8 kg de agua y 2.34 kg de óxido de calcio.

\*\*Agua: sumatoria de 7.8 Kg de agua utilizada para la solución y 10 Kg de agua por etapa de lavado (10 etapas) por lote 1.

Cuadro 58. Costo de tratamiento por el método proceso soda modificado y mecánico con base en consumo eléctrico de equipo

Equipo	Cantidad	Tiempo de encendido (h)	Consumo Eléctrico (Kw)	Costo energía eléctrica (Q)***
Resistencia**	1	4	1.5	7.08
Licadora Industrial**	1	0.5*	5.25	3.10
			TOTAL	10.18

\*Licadora industrial: en base a lote 1 en licadora, 6 batch por 5 min= 30 min=0.5 hora.

\*\*Las especificaciones del equipo se encuentra en la sección de apéndice, datos de placa.

\*\*\*El costo de la electricidad en Finca Primavera es Q1.18/Kwh.

Cuadro 59. Costo de tratamiento por el método de proceso de soda modificado y mecánico donde sí se obtuvo pasta celulósica variando tiempos de reacción y cantidad de óxido de calcio en solución.

Cantidad de óxido de calcio solución (p/p)	Temperatura	Cantidad de óxido de calcio (Kg)*	Costo de óxido de calcio (Q/Kg)	Costo	Tiempo de encendido hornilla (h)	Consumo Eléctrico (Kw)	Costo energía eléctrica (Q)**	Costo TOTAL (Q)
30%	50-60°C	3	1.79	5.4	4	2	9.44	14.8
25%	50-60°C	2.5	1.79	4.5	2	2	4.72	9.2
25%	50-60°C	2.5	1.79	4.5	2.5	2	5.9	10.4
25%	50-60°C	2.5	1.79	4.5	3	2	7.08	11.6
25%	50-60°C	2.5	1.79	4.5	3.5	2	8.26	12.7
25%	50-60°C	2.5	1.79	4.5	4	2	9.44	13.9
10%	50-60°C	1	1.79	1.8	2.5	2	5.9	7.7
10%	50-60°C	1	1.79	1.8	3	2	7.08	8.9
10%	50-60°C	1	1.79	1.8	3.5	2	8.26	10.1
10%	50-60°C	1	1.79	1.8	4	2	9.44	11.2
5%	50-60°C	0.5	1.79	0.9	3.5	2	8.26	9.2
5%	50-60°C	0.5	1.79	0.9	4	2	9.44	10.3

\* Solución de óxido de calcio al porcentaje establecido con base en 10 Kg de agua utilizada para un lote de los tratamientos experimentales.

\*\*El costo de la electricidad en Finca Primavera es Q1.18/Kwh.

Cuadro 60. Inversión inicial de materiales para la extracción de fibra, tratamiento por el método proceso soda modificado y mecánico y la realización de bobina.

Equipo	Cantidad	Costo TOTAL (Q)
Cuchillo de acero inoxidable	1	22.00
Tabla de madera de 12X16 in	1	89.00
Guantes de latex	1	19.00
Mesa de trabajo	1	600.00
Olla acero inoxidable 15 galones con tapadera	1	2500.00
Cubeta plástica multiusos de 5 galones	4	160.00
Paleta plástica para altas temperaturas	2	78.00
Tijeras de acero inoxidable	1	100.00
Balanza (de 0-25 Kg)	1	645.00
Pila con 3 marcos de un mínimo de 22X20 in y 200 galones de capacidad	1	1,175.00
Marco tamizador de 19X14 in mesh 30	2	50.00
Nilón negro 5 yardas	1	50.00
Potenciómetro portátil*	1	630.00
	TOTAL	6,118.00

\*Las especificaciones del equipo se encuentra en la sección de apéndice, datos de placa y los precios en la sección de apéndice, cotizaciones.

Cuadro 61. Inversión inicial de equipo para la extracción de fibra, tratamiento por el método proceso soda modificado y mecánico y la realización de bobinas.

Equipo	Cantidad	Costo Q
Molino de rodillos*	1	18,500.00
Resistencia eléctrica*	1	199.00
Licuada Industrial*	1	11,999.99
	TOTAL	30,734.99

\*Las especificaciones del equipo se encuentra en la sección de apéndice, datos de placa y los precios en la sección de apéndice, cotizaciones.

Cuadro 62. Costo de la planta piloto tomando en cuenta el equipo y con base en este calculando la instalación, tubería, electricidad, instrumentos, batería y servicios, excavación y auxiliares en base al Chemical Engineer's Handbook, (Perry, 1999).

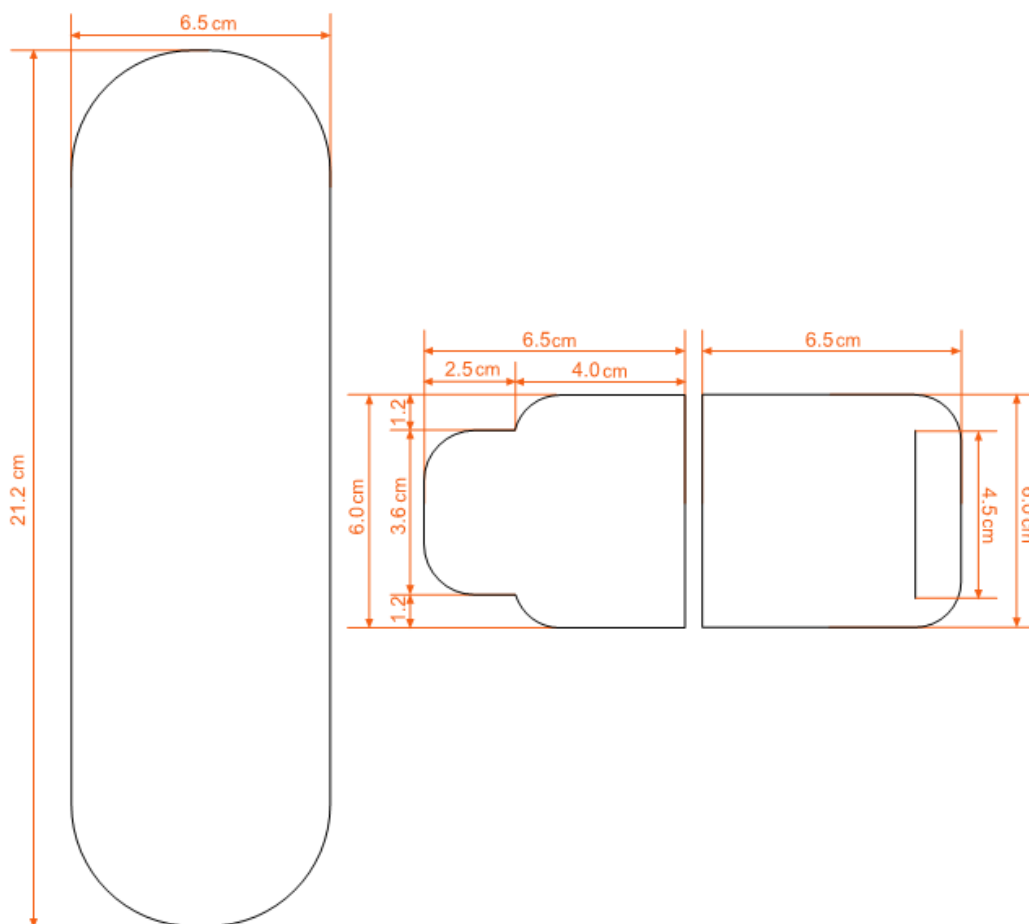
Detalles	Factor*	Costo (Q)
Equipo	1	30,734.99
Instalación	0.41	12,601.35
Tubería	0.34	10,449.90
Electricidad	0.13	3,995.55
Instrumentos	0.13	3,995.55
Batería y servicios	0.3	9,220.50
Excavación	0.15	4,610.25
Auxiliares	0.52	15,982.19
	TOTAL	91,590.27

\*Método del factor múltiple obtenido del Chemical Engineer's Handbook, Perry, página 9-68 process economics, chapter 9 of the copyright 1999 by the McGrawHill Companies Inc.

Cuadro 63. Costo de cada bobina en base a las condiciones de los tres lotes realizados

Lote	Cantidad de bobinas obtenidas (unidad)	Costo de materia prima (Q)	Costo de consumo eléctrico de equipo (Q)	Costo (Q)TOTAL	Pliego de bobina de 19X14 in Q/unidad
1	13	1.73	8.68	10.41	0.80
2	9	1.24	7.12	8.36	0.92
3	16	2.11	8.18	10.29	0.64

Ilustración 14. Dimensiones del prototipo final de toalla sanitaria propuesto



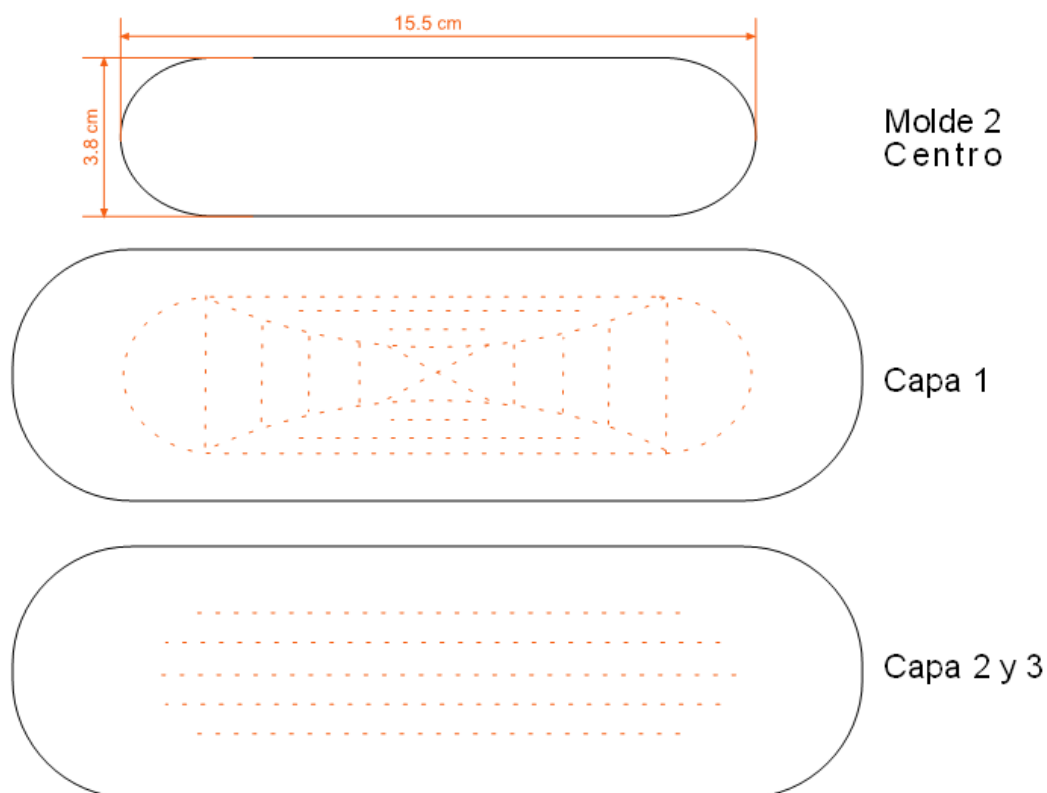
Cuadro 64. Metodología para la obtención de bobinas a base de pasta celulósica de banano con los pasos para la obtención de la fibra y el tratamiento de proceso soda modificado y mecánico.

Procedimiento a llevar a cabo	Equipo a utilizar*	Descripción del proceso
Extracción**	Cuchillo de acero inoxidable Tabla de madera de 12X16 in Guantes de latex Molino de rodillos Mesa de trabajo	Recepción del pinzote y limpieza superficial.
		Cortar la epidermis del pinzote.
		Cortar el cortex en piezas manejables aproximadamente de 60 cm de longitud y 10 cm de ancho.
		Pasar por el molino de rodillos los pedazos de cortex
		Remover la capa inferior del pedazo cortex removiendo los alveolos
		El operador debe raspar con la ayuda de cuchillos para separar la fibra. Se puede partir en pedazos de 5 cm de ancho para su fácil manejo.
		La fibra extraída se debe de limpiar bien hasta obtener una fibra blanca
		seguir con el procedimiento hasta completar toda la capaz del pinzote y llegar hasta el centro
Tratamiento de proceso soda modificado y mecánico**	Olla acero inoxidable 15 galones con tapadera Cubeta plástica multiusos de 5 galones Paleta plástica para altas temperaturas Tijeras de hojalatero Resistencia eléctrica Licuadora Industrial Balanza (0-25 Kg)	Realiza una solución de óxido de calcio al 10% en base a 10 partes de agua por 1 parte de fibra extraída y se calienta por 2.5 horas a una temperatura de 50-60 ° C.
		La fibra obtenida se lava con 10 etapas de lavado en serie con agua (10 Kg de agua por etapa de lavado).
		Cortar la fibra en pedazos de 1 cm de largo para introducir en una licuadora industrial 30 partes de agua por 1 parte de fibra por 5 min
Realización de bobinas**	Pila con 3 marcos de un mínimo de 22X20 in y 200 galones de capacidad Marco tamizador de 19X14 in mesh 30 Nilón negro 5 yardas Cubeta multiusos de 5 galones Potenciómetro portátil	Trasladar la pulpa a la pila donde se agrega 1 parte de la solución obtenida en la licuadora con 2 partes de agua.
		Verificar el pH y si no se encuentra en el rango de 5.5-6.5 agregar jugo de limón hasta alcanzar este rango.
		Colocar con un movimiento suave el marco hasta tenerlo lleno de pasta celulósica y sacarlo de la pila.
		Dejar escurrir para quitar el exceso de agua. Darle vuelta al marco en las bolsas de nylon hasta que la bobina se desprenda del marco.
		Colocar la bobina en la interperie hasta que se encuentra completamente seca.
Cuando la bobina este completamente seca, pasar la bobina por el molino de rodillos.		

\*Las especificaciones del equipo se encuentra en la sección de apéndice, datos de placa y las del material en apéndice, cotizaciones.

\*\*En la sección de apéndice, procedimiento se puede observar la explicación del procedimiento con más detalle y fotografías para su mayor comprensión.

Ilustración 15. Dimensiones del patrón para el centro de la toalla sanitaria y perforaciones de la capa 1,2 y 3.



Cuadro 65. Resultados promedio de peso, pruebas de capacidad de absorción, velocidad de absorción, microbiología y pH para toalla sanitaria de lote 1.

Descripción	Valor
Peso toalla sanitaria	8.5123 ± 0.0001 g
Volumen de solución MEDS absorbido	12.24 ± 0.05 mL
Velocidad de absorción	48.02 ± 3.00E-4 s
Factor de capacidad de absorción (en gramos de agua absorbida por gramo de material de relleno)	7.37 ± 0.03
pH	8.965 ± 0.001
UFC/gramo de muestra	4550
%W (día 80)	78.92

Cuadro 66. Metodología para la producción de una toalla sanitaria a partir de los pliegos del pinzote de banano.

Procedimiento a llevar a cabo	Equipo a utilizar	Descripción del proceso
Elaboración de las capas y alas de la toalla sanitaria	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lápiz</li> <li>• Tijera</li> <li>• Molde 1 (Ilustración 3, página 32)</li> </ul>	Trazar sobre cada bobina de 19 x 14 pulgadas, 5 veces el molde 1. Evitar dejar espacio entre los mismo.
		Dibujar las alas de la toalla
		Cortar en trozo de aproximadamente 1 cm las orillas restantes, este va a ser el relleno de la toalla.
		Enumerar las capas (1 a 5).
Diseño de primera y segunda capa	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Capa 1 y 2</li> <li>• Máquina de coser plana de un hilo</li> <li>•</li> </ul>	La primera capa se debe puntear con la máquina de coser sin hilo siguiendo el patrón que se encuentra en anexos.
		En la segunda capa se puntean 5 líneas verticales en el centro de la misma, como se muestra en la sección de anexos.
Elaboración del centro absorbente de la toalla	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lápiz</li> <li>• Máquina de coser plana de un hilo</li> <li>• Molde 2 (3.8 x 15.5 cm)</li> <li>• Balanza</li> <li>• Hilo de algodón</li> </ul>	Dibujar en la parte central de la capa 3 el segundo molde.
		Puntear con la máquina de coser sin hilo 5 líneas verticales dentro del área previamente dibujada.
		enhebrar la maquina nuevamente con hilo.
		Coser con la máquina, el centro trazado en dicha capa. No cerrar el ovalo, dejar una abertura de aproximadamente 4 cm.
		Rellenar con los residuos de la bobina previamente cortados dicho ovalo. Pesar 3 gramos.
		Cerrar y rematar la abertura. Eliminar hilos remanentes.
Integración de las capas y adición de alas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Máquina de coser plana de un hilo.</li> <li>• Hilo de algodón</li> <li>• Tijeras.</li> </ul>	Ordenar las capas.
		Unir las cinco capas en la orilla con la máquina de coser.
		Coser las alas en las orillas de la toalla.
		Eliminar hilos remanentes.

\*En la sección de apéndice, se puede observar la explicación del procedimiento con más detalle y fotografías para su mayor comprensión.

Cuadro 67. Resultados promedio de peso, pruebas de capacidad de absorción, velocidad de absorción, microbiología y pH para toalla sanitaria de lote 2

Descripción	Valor
Peso toalla sanitaria	8.9382 ± 0.0001 g
Volumen de solución MEDS absorbido	12.28 ± 0.05 mL
Velocidad de absorción	49.03 ± 3.00 x10 <sup>-4</sup> s
Factor de capacidad de absorción (en gramos de agua absorbida por gramo de material de relleno)	7.27 ± 0.03
pH	9.052 ± 0.001
UFC/gramo de muestra	2900
%W (día 80)	84.73

Cuadro 68. Resultados promedio de peso, pruebas de capacidad de absorción, velocidad de absorción, microbiología y pH para toalla sanitaria de lote 3

Descripción	Valor
Peso toalla sanitaria	8.2857 ± 0.0001 g
Volumen de solución MEDS absorbido	12.22 ± 0.05 mL
Velocidad de absorción	42.16 ± 3.00 x10 <sup>-4</sup> s
Factor de capacidad de absorción (en gramos de agua absorbida por gramo de material de relleno)	7.69 ± 0.04
pH	6.860 ± 0.001
UFC/gramo de muestra	5100
%W (día 80)	68.49

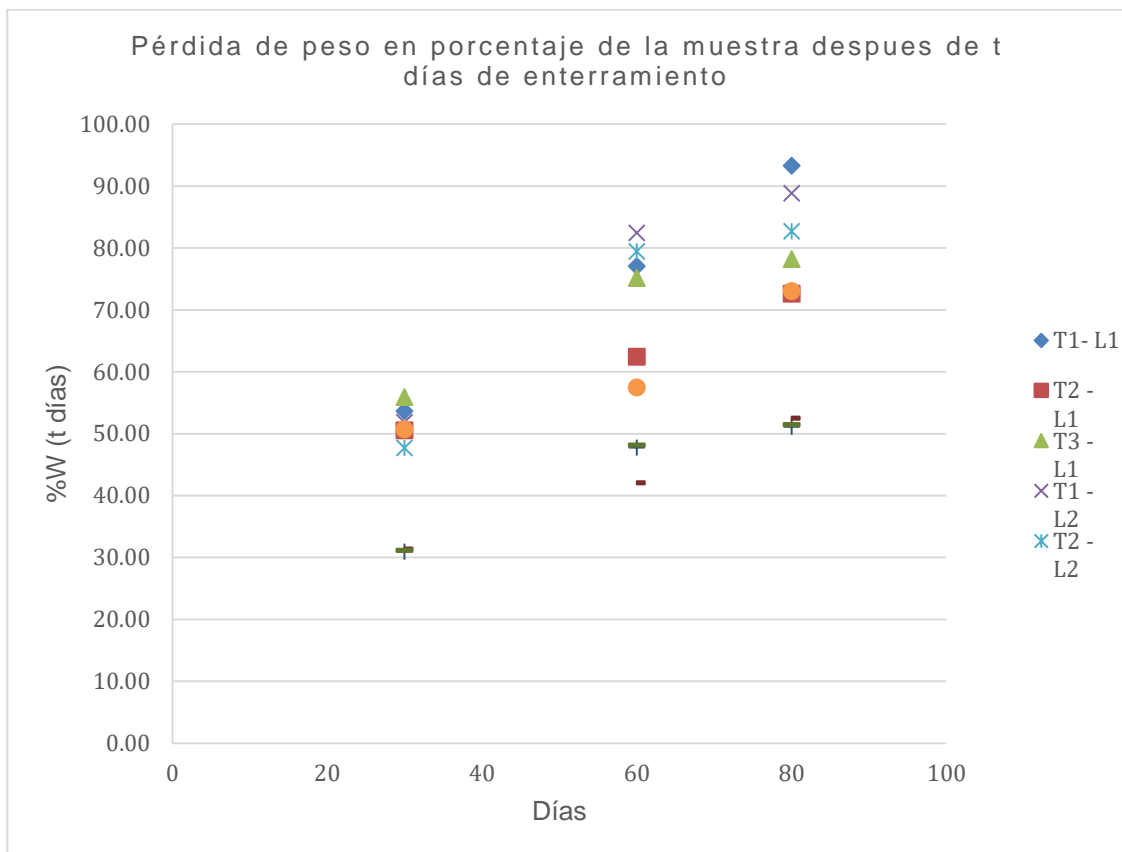
Cuadro 69. Resultados promedio de peso, pruebas de capacidad de absorción, velocidad de absorción, microbiología y pH para toalla sanitaria comercial

Descripción	Valor
Peso toalla sanitaria	8.9382 ± 0.0001 g
Velocidad de absorción	3.38 ± 3.00x10 <sup>-4</sup> s
Factor de capacidad de absorción (en gramos de agua absorbida por gramo de material de relleno)	13.63 ± 0.09
pH	7.017 ± 0.001
UFC/gramo de muestra	4400
%W (día 80)	51.70

Cuadro 70. Costo de producción de una toalla sanitaria fabricada a base de fibra de banano

Costo materiales/ toalla sanitaria (Q)	Costo de consumo eléctrico de equipo (Q)	Costo TOTAL por toalla sanitaria (Q)
0.793	0.015	0.81

Ilustración 16. Gráfica de porcentaje de pérdida de peso de toalla sanitaria comercial y toalla sanitaria a partir de los pliegos del pinzote de banano, después de 80 días de enterramiento.



\* Nota: En esta gráfica se abrevia para fines prácticos el nombre de las muestras, se utiliza la siguiente nomenclatura:

- T(n)= toalla sanitaria a partir de la fibra de pinzote de banano, la numeración representa el número de lote al que pertenece la muestra.
- TC(n) =toalla sanitaria femenina comercial, la numeración representa el número muestra.

Ilustración 17. Diagrama del proceso de la propuesta de planta artesanal para la producción de toallas sanitarias biodegradables.

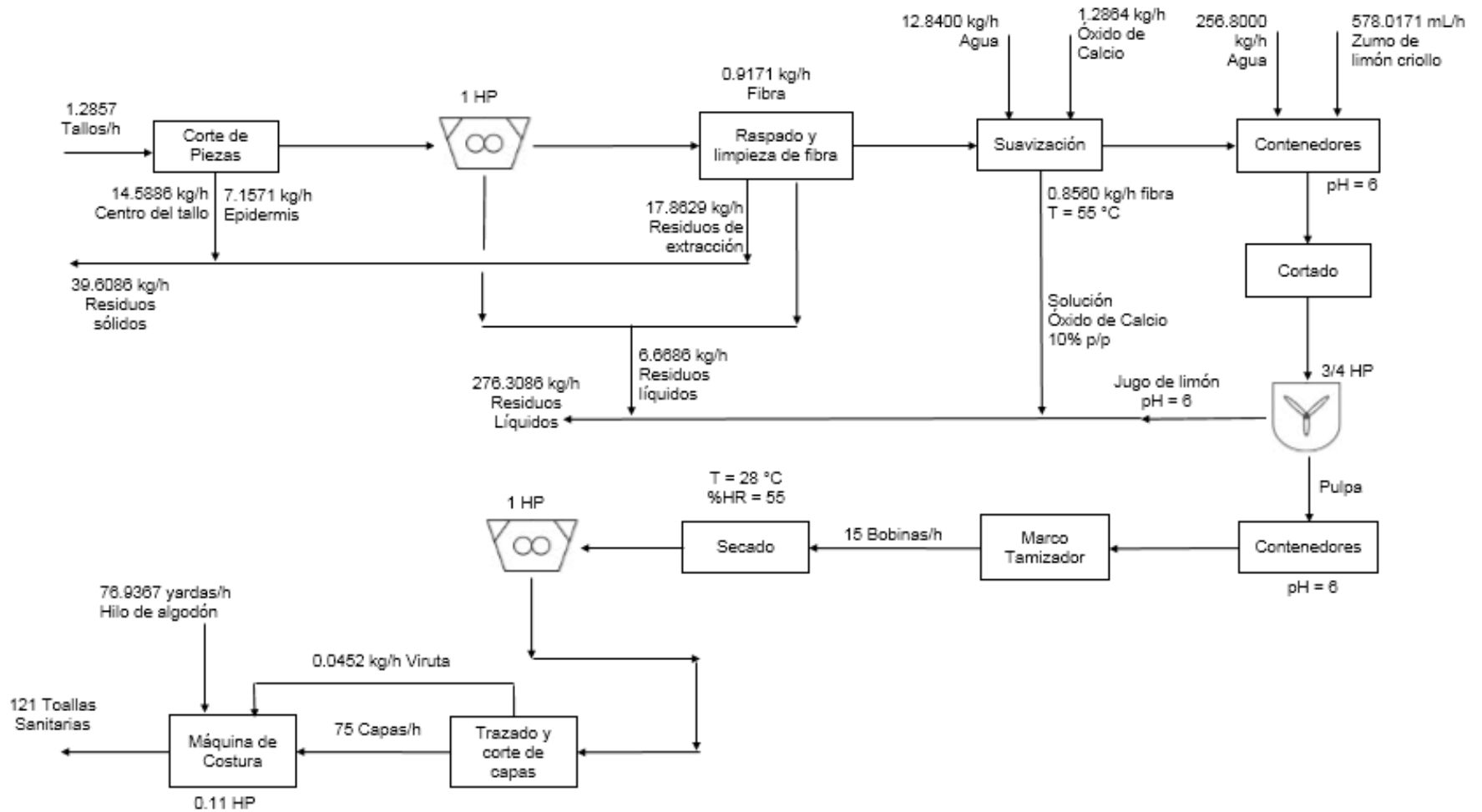
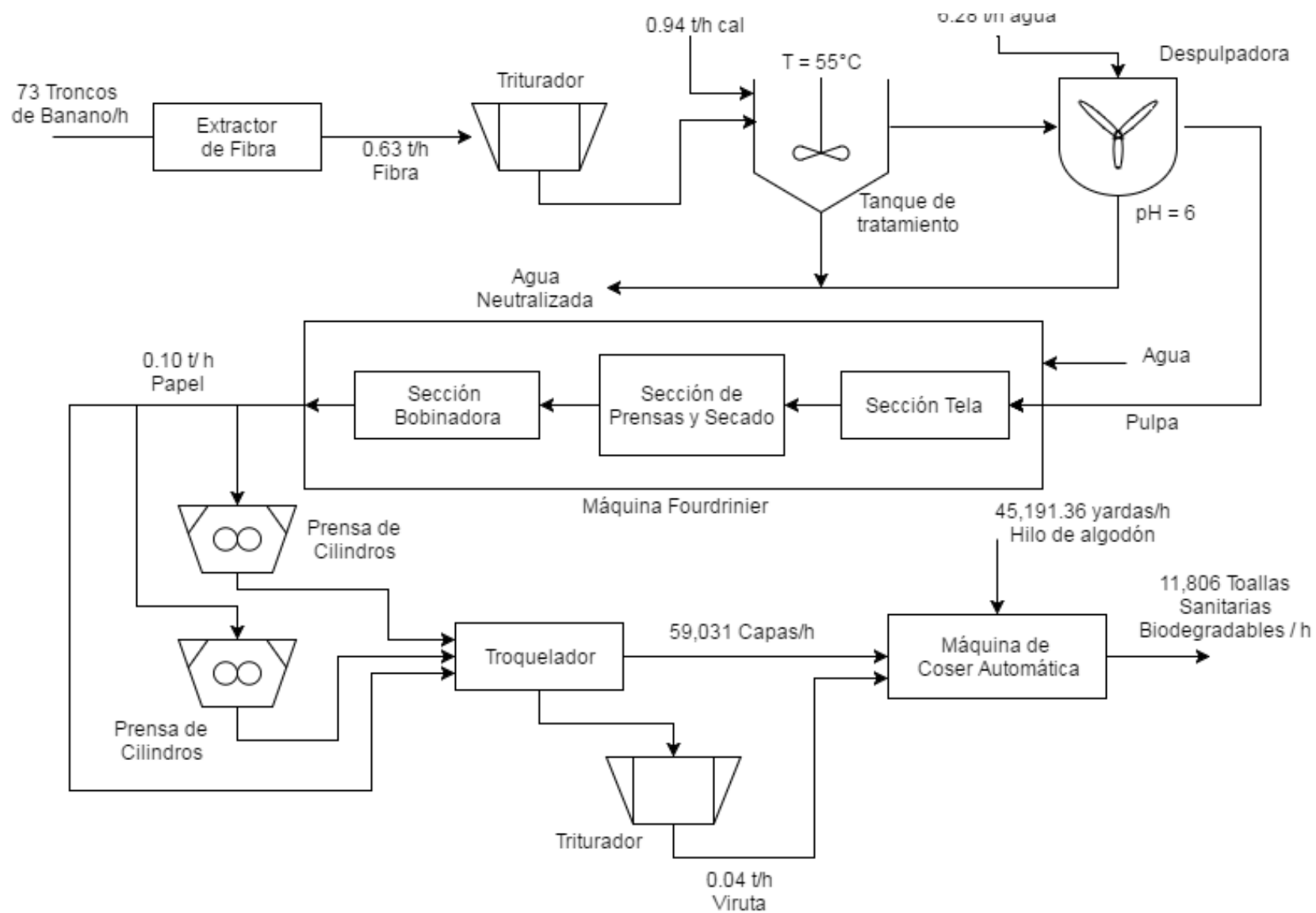


Ilustración 18. Diagrama de la propuesta del proceso de producción industrial de toallas sanitarias biodegradables.



Cuadro 71. Equipo seleccionado para cada subproceso industrial para la producción de toallas sanitarias biodegradables.

Subproceso	Equipo
Extracción de fibra	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desfibrador.</li> <li>• Triturador de discos dentados.</li> </ul>
Suavización de fibra	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tanque agitado.</li> </ul>
Producción de pulpa	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Despulpador</li> </ul>
Producción de papel	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Máquina de papel de mesa plana.</li> </ul>
Obtención de capas y viruta	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Prensa de Cilindros.</li> <li>• Troqueladora hidráulica de troquel plano.</li> <li>• Triturador de discos dentados.</li> </ul>
Confección de toallas sanitarias	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Máquina de coser automática de cabezas múltiples</li> </ul>

Cuadro 72. Costos obtenidos del proceso en planta artesanal para la fabricación de toallas sanitarias biodegradables.

Inversión inicial	Q 78,047.78
Inversión inicial según mercado artesanal	Q 74, 881.78
Diferencia entre inversiones iniciales	4.05 %
Costo mensual de insumos	Q 834.54
Costo anual de insumos	Q 10,014.46

## IX. Discusión

El objetivo principal de este megaproyecto fue la caracterización y extracción de la fibra proveniente del pinzote de banano y su posterior tratamiento para diseñar pliegos de bobina a base de pasta celulósica del cortex del pinzote de banano para la realización de un prototipo de toalla sanitaria biodegradable y proponer el proceso de producción tipo planta artesanal evaluando su escalabilidad con base en el costo del proceso y del prototipo final.

Como primera parte se realizó la caracterización de la materia prima consistió en dos diferentes tipos de evaluación, una parte cualitativa y una cuantitativa. La parte cualitativa se hizo con la observación y comparación del proceso de degradación de los pseudotallos almacenados a dos distintas condiciones, la primera forma de almacenamiento fue a la intemperie con exposición solar y la segunda en una bodega sin exposición solar, este método de análisis involucra la determinación de olores, segregación de jugos, cambio de colores y deformaciones de los pseudotallos en el tiempo, además se tomó el peso inicial y final de cada ente de estudio para determinar la pérdida de peso que experimentó en el tiempo de observación. Esta comparación se realizó con el fin de determinar las condiciones de almacenamiento que provoca una degradación menor y o más lenta de los pseudotallos para establecer el manejo adecuado del pinzote de banano para reducir su degradación. El análisis cuantitativo se realizó en el momento de la recepción de la materia prima para determinar las condiciones iniciales de los pseudotallos: largo, grosor y peso, datos que son útiles para poder dimensionar espacios necesarios de almacenamiento para futuros proyectos o bien para la realización del balance de masa para el proceso de fabricación de un pliego de papel. La materia prima que se analizó fueron pseudotallos provenientes de la finca “Primavera” en Escuintla, Guatemala.

En el análisis cuantitativo se determinó que el largo de los pseudotallos oscila entre 167.00 a  $180.00 \pm 0.05$  cm, ver Cuadro No. 39 página 108, de acuerdo Roseboom, Oñoro, & Waai, 1990 en “El cultivo del plátano en el valle de Sixaola, Costa Rica” el tamaño puede variar entre 2-5 m dependiendo de diversos factores como el clima, tipo de tierra, variedad de planta, entre otros. Debido a que las empresas agricultoras deben tener consistencia en su producto, trabajan con condiciones controladas de suelos y riego por lo que los tamaños de los pseudotallos son bastante consistentes entre sí. Las diferencias entre estos puede deberse al corte realizado por los obreros durante la cosecha.

Los pesos de los pseudotallos se encuentra en un rango de 26.99 a 52.62  $\pm$ 0.02 kg, los primeros ocho pseudotallos analizados en el Cuadro No. 39 página 108, presentan un peso menor que los últimos ocho evaluados; Los primeros ocho en promedio presentaron un peso de 35.27  $\pm$  0.02 kg y los últimos ocho un peso de 44.03  $\pm$ 0.02 kg, esta discrepancia se debe a que los primeros fueron analizados al onceavo día de haber sido cortados, mientras que los últimos ocho fueron analizados al cuarto día de haber sido cortados, lapso en donde se dio evaporación provocando pérdidas de agua y por consiguiente su peso se vio afectado. La experimentación se llevó a cabo de esta forma debido a limitaciones de logística de transporte de materia prima, ya que la llegada de los pseudotallos de ambos lotes no coincidieron y la experimentación se realizó con forme se dio el ingreso de la misma en el Laboratorio de Operaciones Unitarias del departamento de Ingeniería Química en la Universidad del Valle de Guatemala. Además del peso se determinó el perímetro de ambos extremos, el perímetro inferior, es decir el extremo más grueso presentó un promedio de 79.25  $\pm$ 0.20 cm en un rango de 64-91.00  $\pm$ 0.05 cm y el extremo superior, el más angosto, presentó un promedio de 64.34  $\pm$ 0.20 cm en un rango de 55.50-84  $\pm$ 0.05. Según Cortéz, 1994 en "Atlas agropecuario de Costa Rica" la anchura de las láminas varía de 70 a 100 cm dependiendo de la especie y la edad del pseudotallo.

En el Cuadro No. 39 página 108 se presentan los diámetros obtenido de forma directa medidos con metro con la toma de medida en la línea más prolongada de los extremos debido a que no presentaba forma perfectamente circular, y en el Cuadro No. 40 página 108 los diámetros determinados de forma indirecta con el uso del perímetro determinado de forma experimental y la ecuación No.1 "determinación de diámetro" página No. 27. ; el diámetro calculado de forma indirecta dio como resultado un diámetro promedio de la circunferencia del tronco, por lo que se esperaba fuera menor que el diámetro determinado de forma directa, pero resultó ser mayor por una o dos unidades de diferencia debido a que los perímetro no fueron medidos al final de cada extremo como los diámetros, sino más bien fueron medidos en un punto donde fuera posible obtener todas las hojas del sistema foliar en la medida de cada extremo, para evitar tener errores debido a irregularidades de los cortes.

Se determinó el contenido de agua de la materia prima con la prueba de contenido de humedad; se utilizó una balanza de humedad que brinda el porcentaje de agua en la muestra; el modo de operación del equipo consiste en tomar el peso inicial de la muestra, luego calienta la muestra a una determinada temperatura para evaporar la humedad, durante esta operación de desecación el peso es determinado continuamente por el equipo, la operación continúa hasta que el peso de la muestra no varíe, lo que indica que la muestra está libre de agua. Como indica Ohaus, 2011 en el "Manual de instrucciones de analizador de humedad MB45"; la temperatura

y tiempo de desecación óptimos dependen de la naturaleza y tamaño de la muestra y de la precisión que se necesita en los resultados y pueden determinarse con la experimentación únicamente. La temperatura de desecación debe ser seleccionada a modo de no permitir la descomposición de la muestra y la modificación de su estructura química; Según Betancourt, Gañán, Jiménez, & Cruz, 2009, en el trabajo de “Degradación térmica de fibras naturales procedentes de la calceta de plátano (Estudio cinético)” las muestras evaluadas presentan una pérdida de masa inicial en torno a 100 °C debido a la eliminación de agua presente en la muestra, y alrededor de los 170 °C se comienza a dar inicio de la degradación de la fibra vegetal, con a esta información, para fines de esta experimentación, se programó la balanza a una temperatura de secado de 140 °C, para disminuir el tiempo de análisis y a su vez evitar causar un calentamiento de equipo, ya que esto puede hacer interferencia en los resultados y la precisión del experimento sería baja y a la vez evitar una degradación térmica de la muestra a analizar.

Para la experimentación se prepararon muestras de las tres distintas capas foliares mostradas en Ilustración 13, página 94, de tamaños en el rango 8.00 x 12 ±0.01mm de altura y de largo, ver Ilustración 19 página 109. El grosor de la muestra fue variando ya que las capas foliares no presentan grosores uniformes. Así como Véniza y Baena, 2016 describen en “Morfología de la planta de banano” que el sistema foliar presenta grosores decrecientes con orillas bastante finas, este no se modificó para simplificar la preparación de las muestras y disminuir la manipulación de las mismas y evitar errores en los resultados, ver Ilustración 19 , en sección de Anexos página 98. Cuando se utilizan balanzas de humedad es recomendable trabajar con muestras pequeñas para acortar el tiempo de medición, no deben ser demasiado pequeñas pues serían resultados poco precisos. Según Cuadro 41, página 108, las muestras tomadas más cercanas al centro presentaron mayor cantidad de humedad con un promedio de 96.47 ±0.03 % de humedad y las muestras más externas presentaron el contenido de humedad más bajo con un promedio de 92.90 ±0.03 %, lo cual es congruente pues son las capas que están más expuestas a la pérdida de agua por evaporación. En promedio el pseudotallo presenta una humedad de 94.46 ±0.05 % resultados que concuerdan con Mohapatra, 2010, en “Banana and its by-product utilisation: an overview” quien indica que la composición del pseudotallo es de un 6.4% en materia seca. Los objetos de estudio al ser pequeños se cortaban justo antes de ser introducidos al equipo ya que si se cortaban con anticipación, la muestra comenzaba a presentar sequedad en las orillas debido a la evaporación.

Las pruebas de pH, cenizas, porcentaje de retención de agua, análisis químico, y biodegradabilidad, se realizaron en la fibra que se extrajo de las distintas capas foliares del pseudotallo, ver Ilustración 14 en sección de anexos página 95. Se analizó la fibra en tres puntos

distintos del pseudotallo debido a que estas presentaron características diferentes al sentido del tacto, siendo la central la más suave y la exterior la menos suave al tacto.

Para la prueba de pH se utilizó agua destilada con un pH inicial de  $6.990 \pm 0.001$ . Se siguió la metodología descrita en la sección “B,1” de metodologías página 28. En el Cuadro No. 41 página 108, se muestra que los resultados obtenidos no variaron significativamente entre fibras de las distintas capas foliares, el rango de pH de la fibra del pseudotallo es de  $5.923 - 6.054 \pm 0.003$  indicando que la fibra es levemente ácida. Estos valores se encuentran dentro del rango permisivo para el pH de una toalla sanitaria comercial según la Norma “COGUANOR NGO 46 031, para especificaciones de toallas sanitarias”, en donde afirma que estas deberán estar libres de ácidos o bases y el material absorbente deberá tener un pH entre 5.0 y 7.0. Esto quiere decir que si se utiliza un método de suavización químico ya sea por medio ácido o básico, se deberá ajustar el pH final para que la materia prima vuelva a estar dentro del rango aceptado para ser utilizado en la elaboración de una toalla sanitaria.

Para la experimentación de la densidad se determinó la densidad aparente ya que la fibra es un material poroso. Se decidió realizar la experimentación por el método de Arquímedes el cual es un método de bajo costo y buena exactitud en comparación de los métodos de picnometría de helio y el de diámetro y densidad linear según describen Truong, y colaboradores 2009, en “A comparative study on natural fibre density measurement” Además indican que se utilice el aceite de canola como fluido de inmersión para determinar el volumen debido a que es un reactivo no tóxico y por tanto fácil de manipular; da una excelente exactitud, además de esto se determinó utilizar este método pues es de uso general para la determinación de densidad de fibras naturales, sencillo en el montaje del sistema y simplicidad de uso de ecuaciones para el cálculo de la misma. Previo a la experimentación se secó la fibra en un horno a 60 C durante 72 horas, para eliminar el agua libre de la fibra; Las muestras fueron sumergidas en una probeta de  $50.00 \pm 0.50$  mL, que contenían inicialmente 25 mL de aceite de canola. Una vez sumergida la muestra se montó un sistema como el mostrado en la Ilustración No. 28 en la sección de anexos página No. 104 para aplicar vacío con el fin de extraer las burbujas de aire que pudieran estar atrapadas en el sistema y no ser interferencia en las lecturas finales de los volúmenes. Con la ecuación No. 5 en sección de metodología “B,4” página 92 se calculó la densidad. Al finalizar los cálculos se determinó un rango de  $0.4583 \pm 0.5878$  [g/mL]-  $0.6323 \pm 0.7089$  [g/mL] para la fibra extraída del centro, un rango de  $0.5124 \pm 0.5503$  [g/mL]-  $0.5572 \pm 0.5902$  [g/mL] para la fibra extraída del medio y un rango de  $0.3994 \pm 0.2983$  [g/mL]-  $0.5258 \pm 0.5565$  [g/mL] para la fibra extraída del exterior. Por lo que la densidad relativa aparente de la fibra oscila en un rango de  $0.3994 \pm 0.2983$  [g/mL] -  $0.6323 \pm 0.7089$  [g/mL], ver Cuadro 43 página 109.

El contenido de ceniza no define de forma directa la utilidad de un papel pero se utiliza como punto de control para la adición de rellenos en límites específicos, según el tipo de papel. Para la determinación de contenido de ceniza se debió preparar los crisoles, cristalería que contuvo la muestra dentro de la mufla, de forma adecuada y llevarla a peso constante. La fibra seca se cortó para disminuir su tamaño para poder tener una muestra homogénea y facilitar la colocación de la misma en los crisoles ya que es un material voluminoso, una vez reducido su tamaño, se pesaron muestras de  $0.5000-1.0000 \pm 0.0001$  g. Previo a la incineración se quemaron las muestras en una estufa dentro de una campana para evitar que la mufla se ahumara durante la incineración. Se introdujeron los crisoles con las muestras previamente quemadas en una mufla durante 4 horas a  $550\text{ }^{\circ}\text{C}$ , siguiendo la metodología planteada por Akubueze y otros, 2015 en "Extraction & Production of Agro- sack from banana (*Musa Sapientum*) & Plantain (*Musa paradisiaca*) Fibres for packing agricultural produce", quien utilizó como uno de los objetos de estudio la fibra del pseudotallo de banano, además según Betancourt, Gañán, Jiménez, & Cruz, 2009, en el trabajo de "Degradación térmica de fibras naturales procedentes de la calceta de plátano (Estudio cinético)" La degradación de la fibra vegetal comienza en  $170\text{ }^{\circ}\text{C}$  pero continúa ocurriendo a temperaturas superiores a  $400\text{ }^{\circ}\text{C}$  lo que Shebani, 2008, en "ThermoChim", indican que la lignina, algunos polisacáridos y ciertas sustancias inorgánicas pueden ser causantes de la degradación que sigue ocurriendo en temperaturas de  $550\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Una vez transcurrido el tiempo de incineración, con la ecuación No.2 mostrada en la sección de metodología "B,2" página 29, se determinó el contenido de cenizas de cada muestra.

Los resultados en la Cuadro No.44 página 109; indican que la fibra que obtuvo menor contenido de ceniza fue la extraída de la capa foliar central, seguido de la fibra media y por último la fibra exterior. El rango obtenido para la fibra central fue de  $3.8139 \pm 0.0249$  -  $3.9000 \pm 0.0251$  %, para la fibra del medio fue de  $4.2558 \pm 0.0209$  -  $4.7909 \pm 0.0234$  % y la fibra externa un rango de  $4.0996 \pm 0.0170$  -  $5.1640 \pm 0.0213$ % con lo que se obtuvo un promedio de  $3.8427 \pm 0.0472$ % para la fibra central,  $4.6625 \pm 0.0360$ % para la fibra media y  $4.7851 \pm 0.0328$ % para la fibra exterior. Los resultados obtenidos concuerdan con lo que Karampinis y Grammelis, 2012, en "Herbaceous biomass- supply chains. BISOPLAN: the Bioenergy System Planners Handbook", expresan acerca de las plantas herbáceas: que el contenido de cenizas de las mismas oscila entre 2%-10%. Esta propiedad es un factor crítico para la producción de papel, ya que según el contenido de cenizas en la pulpa, así será la calidad del producto y a mayor porcentaje de ceniza más difícil es el proceso de producción de papel; Esto se debe a que el color de las cenizas es un gris oscuro, provocando que el color final del papel sea oscuro, por lo que se requiere más cantidad de reactivos blanqueadores como bisulfito de sodio que actúa

como reductor en el proceso de blanqueado, lo cual hace que se incrementen costos y a su vez las cadenas de celulosa resultantes son más cortas debido a que se ven reducidas durante este proceso de blanqueado lo que se traduce en modificaciones en las propiedades mecánicas del producto final, es decir un papel más quebradizo. Según ASTM en "Paper and Paperboard Characteristics, nomenclature and significance of test", 1981; es posible para el papel presentar un porcentaje de ceniza de hasta 3-5% sin haber sido modificado, sin haberle agregado minerales de relleno. Por tanto, es posible realizar un pliego de papel a partir de la fibra de banano procedentes de los pseudotallos.

El análisis químico para determinar el porcentaje de hemicelulosa, celulosa y lignina consistió en una serie de hidrólisis en medio básico y ácido. Se siguió el método descrito por Moubasher y colaboradores 1982, en "Direct estimation of cellulose, Hemicellulose and Lignin", ver metodología descrita en la metodología "B, 5" página 32, que brinda un resultado directo de los componentes. Para la separación de hemicelulosa, se dio una hidrólisis de la muestra en medio básico con KOH al 24% durante 4 horas, ya que al ser un polisacárido ramificado de cadenas cortas, son susceptibles a las hidrólisis básicas pues su estabilidad se ve afectada al tener una estructura amorfa. A diferencia de la celulosa que sí presenta una estructura lineal, cadenas largas y resistencia debido a la capacidad para formar puentes de hidrógeno por la presencia de los grupos OH en su estructura; otro factor a tomar en cuenta fueron los enlaces  $\beta$  (1 $\rightarrow$ 4) ya que son altamente resistentes a la hidrólisis ácida se utilizó un ácido mineral fuerte (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) para producir D-glucosa y así romper la celulosa, primero se dio una hidrólisis con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> al 72% durante 3 horas y luego se sometió la muestra a un reflujo con este ácido al 5% durante dos horas para terminar de separar la celulosa de la lignina.

Al realizar las hidrólisis ácidas y básicas como se describe en la metodología sección "B, 5" página 32, se producen azúcares, los cuales ya son solubles en agua y es posible removerlos, por lo que se utilizaron las propiedades estructurales de las moléculas para poder separarlas y analizarlas con las diferencias de pesos y empleo de las ecuaciones No. 6 y 7, página 911. Por otra parte la lignina al ser un sistema complejo de enlaces entrecruzados de unidades monoméricas y un polímero amorfo, según Primo, 2007 en "Química orgánica básica y aplicada: de la molécula a la industria" esta se disuelve en NaOH concentrado y se degrada con H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> alcalina, por lo que en la metodología planteada, el remanente de la muestra analizada era equivalente a la lignina, ya que no se utilizó una hidrólisis con bases concentradas.

Los resultados de la determinación directa de los tres componentes se muestran en la cuadro 45 página 110, en donde se observa que los porcentajes obtenidos para las fibras provenientes de distintos puntos del pseudotallo no difieren una de otra significativamente, el

rango de porcentaje de celulosa presente en la fibra del pseudotallo de banano es de  $71.4359 \pm 0.0492$  -  $72.1450 \pm 0.0524$  y el porcentaje de lignina resultó ser reducido,  $5.6493 \pm 0.0330$  -  $6.2433 \pm 0.0311\%$ ; sí es buena materia prima para realización de pulpa celulósica para la fabricación de un pliego de papel. Un aspecto importante a recalcar es que el contenido de lignina de las diferentes capas foliares no es creciente según su tiempo de madurez, debido a que no se lignifica con el tiempo.

Se realizó además la capacidad de absorción de agua para determinar cuánto líquido es capaz de retener la fibra cuando se satura. Para la prueba se secó la fibra durante una hora y media a  $105-110$  °C para eliminar el agua libre presente en la fibra se determinó el peso seco de la muestra. Luego se sumergieron las muestras en agua destilada durante 5 minutos, para asegurar la saturación de los poros con el agua. Finalizado el tiempo se montó el sistema como se muestra en la ilustración No. 9 página 31, y se centrifugaron las muestras durante cinco minutos a una aceleración radial de  $9,8000$  m/s<sup>2</sup> siguiendo la metodología de ASTM D, 2402, "Standard Test Method for Water Retention of Textile Fibers (Centrifuge Procedure)". Para eliminar así el agua en exceso. Se prosiguió a pesar las muestras y con la ecuación No. 5 página 32, se determinó el porcentaje de retención de agua. Los rangos obtenidos para la fibra extraída de la capa central fueron de  $117.6292 \pm 0.6371$  -  $123.3378 \pm 0.8798$ , para la fibra de la capa foliar media fue de  $142.5487 \pm 0.6635$  -  $162.1352 \pm 1.2046$  % y para la fibra extraída de la capa foliar exterior fue de  $111.7937 \pm 0.7413$  -  $127.0967 \pm 0.8504$  %. Presentaron un promedio de  $120.2146 \pm 1.1469$  %,  $152.5707 \pm 1.5974$  % y  $121.9108 \pm 1.2762\%$  respectivamente, ver Cuadro No 46 página 110. La diferencia de absorción puede deberse al tamaño de poros, cantidad de poros y grosores de pared celular de las fibras; La capacidad de retener agua de las tres diferentes muestras es favorable para ser utilizadas como materia prima absorbente. La realización de una pulpa de este material resultaría en una pulpa celulósica aún más absorbente ya que se ha reportado de acuerdo a investigaciones realizadas en la Universidad Pontificia Bolivariana de Colombia por la Dra. Gómez que la nano celulosa extraída de la fibra de banano puede absorber hasta 200-300 % su peso.

La prueba microbiológica se realizó con el fin de determinar la cantidad de colonias formadoras presentes en el estado inicial de la materia prima; El contenido permisivo descrito en la norma "COGUANOR NGO 46 031" los requisitos microbiológicos para toallas sanitarias de bacterias por gramo (microorganismos mesofílicos, *Staphylococcus aureus* y *Pseudomona aeruginosa*) y hongos por gramo tienen un recuento máximo permitido de 1,000 para cada rubro. Debido a que no se contaba con el material adecuado para determinar específicamente éstos parámetros, se realizó la misma experimentación aplicada a una toalla sanitaria comercial

se obtuvo un recuento de unidades formadoras de colonias de 4,400, como punto de comparación.

Para esta experimentación se realizó un cultivo de la solución de peptona al 0.01% para tener un blanco de control. Al observar la Ilustración 25. , página 101. Se determinó que las muestras analizadas presentan una actividad microbiana elevada por lo que las colonias formadas fueron muy numerosas para ser contadas; Datos que al ser comparados con los resultados de una toalla comercial no son condiciones iniciales adecuadas para la realización de una toalla sanitaria directamente, por lo que se debe realizar algún tipo de tratamiento (térmico o químico) a la fibra recién extraída previo a la utilización directa como materia prima de las toallas sanitarias para que sea igual o menor al número obtenido de las toallas comerciales analizadas.

La prueba de degradabilidad de la fibra se realizó con el fin de determinar cómo la materia va incorporándose a la tierra en el tiempo, se basó en el método de entierro el cual es un método tradicional para determinar la degradación debido a la similitud que presenta a las condiciones actuales que se dan durante la disposición de los desperdicios. Para la experimentación se utilizó tierra negra con 20% de humedad para mantener a los microorganismos activos y un pH inicial de 6.00, el porcentaje de humedad se mantuvo con la adición de agua destilada al sistema para mantener este parámetro constante durante el período de experimentación, debido a que esta humedad es óptima para la proliferación de microorganismos. Se pesó la fibra seca y enterró a 5 cm debajo de la tierra, ya que 5 a 15 cm de profundidad es la sección más saturada de microorganismos que se encuentra, un gramo de tierra tiene hasta  $10^8$  microorganismos presentes descrito por Arshad y Mujahid, 2011 en "Biodegradation of Textile Material". Los objetos de estudio fueron enterrados por separado a modo de no tener interferencias entre los mismos debido a posibles mezclas entre muestras. Una vez transcurrido 30 días de experimentación se extrajo la fibra y lavó con una solución de etanol agua al 70 % v/v durante 10 minutos para eliminar toda el agua que se encontraba presente dentro de la fibra, luego se dejó secar durante la noche para tomar el peso final de la fibra y determinar el cambio de peso en el tiempo, se enterró nuevamente la fibra y se repitió el procedimiento de lavado y secado para los 60 y 80 días de experimentación.

Como se muestra en la Cuadro 47 página 110, la fibra tuvo mayor pérdida de peso durante los primeros 60 días de experimentación, en donde la pérdida de peso fue constante, mientras que a los 80 días la pérdida de peso de las muestras disminuyó notablemente. Según 37 página 40, la fibra se ha degradado en promedio de un  $53.3625 \pm 0.0143$  % a  $64.1391 \pm 0.0111$ % luego de haber transcurrido 80 días. Con lo que se concluye que el material si es biodegradable pues

presenta cambios en su composición al ser expuesto a microorganismos reflejado en la pérdida de materia en el tiempo.

Según Karampinis, E., & Grammelis, P. 2012 en “ Biomass supply Chains for Bioenergy and Biorefining” la degradación de la biomasa durante el almacenamiento está conectada de forma íntima con el contenido de humedad de la biomasa, e indican que porcentajes menores al 15% en peso de humedad inhiben la actividad anaeróbica microbiana lo que permite un almacenamiento a largo plazo de la biomasa; niveles altos de humedad incrementan los niveles de actividad de agua lo que conlleva a un incremento de actividad microbiana y por tanto degradación y pérdida de la materia. De acuerdo a los análisis de humedad realizados con anterioridad la materia prima, es decir los pseudotallos, cuentan con un 96 % de humedad aproximadamente, por lo que su degradación, debido a la actividad microbiana era de esperarse durante la experimentación cualitativa que consistió, como se mencionó con anterioridad, en la observación de los cambios de los pseudotallos en el tiempo bajo dos diferentes condiciones de almacenamiento. En ambas situaciones de almacenamiento al transcurrir un lapso de tiempo de una semana y media la materia prima desprendió olor desagradable, a partir de este punto las capas externas de los pseudotallos de estudio presentaron un oscurecimiento total, sin embargo durante los tres meses de observación no se logró llegar a una degradación total de los pseudotallos.

Al finalizar los tres meses de observación, se condensaron los datos mostrados en Cuadro 47 página 110, en donde se indica que se obtuvo una pérdida de masa promedio de 41.29 lb para los pseudotallos expuestos a luz solar, y de 39.54 lb para los pseudotallos almacenados en bodega. Estas similitudes pueden deberse a que, a pesar que los objetos de estudio expuestos a la intemperie presentaban mayor evaporación debido a la radiación solar, absorbían agua de las lluvias que se dieron a lo largo del tiempo de estudio. Por otra parte en la Cuadro 47 página 110 se indica la distancia en que el centro del tronco fue consumido por los diversos factores (climáticos y microorganismos) provocando una deformación de los mismos, en donde claramente se puede apreciar que los que sufren mayor degradación del mismo, y por ende pérdida de firmeza fueron los pseudotallos que se almacenaron en bodega.

Los troncos expuestos a la intemperie presentaron de forma menos severa las etapas de degradación, es decir, los olores fueron menos potentes, la segregación de líquidos no fue tan notoria, el crecimiento de cuerpos de hongos no se dio en la misma proporción y la pérdida de firmeza de los mismos fue menos que en los pseudotallos almacenados en bodega sin exposición solar. Las capas foliares de los pseudotallos expuestos a luz solar se secaron adoptando forma rígida, mientras que las capas foliares de los pseudotallos almacenados en

bodega, debido a la humedad simplemente se deformaron manteniendo una superficie húmeda. Esto se debe a la diferencia de condiciones climáticas; según el INSIVUMEH, en la ciudad capital con los datos recolectados de la estación meteorológica situada en el aeropuerto La Aurora, durante el tiempo de experimentación, junio-septiembre, se presentó una humedad relativa de media de 100% y una temperatura media de 60 °C mientras que en la bodega se obtuvo una humedad relativa mínima de 46 % y una máxima de 87 %, con una temperatura mínima de 22 °C y máxima de 29.7 °C. Por lo que el secado de las capas foliares no era posible, y la proliferación de microorganismos debido a las condiciones eran más probables que se dieran.

Según los resultados descritos en la Cuadro No. 159 y 160 en anexos página 233 y 234 y observaciones descritas en el tiempo, se concluye que la materia prima no puede estar más de dos semanas en almacenamiento ya que la descomposición de la misma se acelera, provoca malos olores y puede ser dañino a para las personas debido al crecimiento de hongos y bacterias. Según los análisis microbiológicos realizados con anterioridad, la fibra tiene una cantidad excesiva de microorganismos, pero es posible un almacenamiento a largo plazo de la biomasa sin presentar una degradación según literatura; esto se puede corroborar con el análisis de vida de anaquel que se realizó a la fibra durante tres meses, con una condición inicial de 40% a 35 °C. Como resultados se determinó que no presentó degradación con lo que se puede asegurar hasta un año de almacenamiento sin alteraciones en sus propiedades y características físicas iniciales. Por lo tanto la mejor forma de almacenar la materia prima para reducir su degradación es con la extracción de la fibra antes de exceder dos semanas luego de haber sido cortado el pseudotallo y secarla hasta tener un 40 % máximo de humedad y ser almacenada a 35 °C.

Por último se analizó la flexión de la materia prima ya tratada y transformada en una toalla sanitaria, esta prueba se realizó debido a que un grado de flexibilidad en una toalla sanitaria elevado, puede traducirse en una mayor capacidad de adaptación y ajuste adecuado a la vulva de la mujer, por lo que se brindaría una mayor comodidad y protección al usuario. Se realizó en tres toallas comerciales nocturnas, tres toallas comerciales de días y en tres toallas realizadas a base de fibra de banano con el fin de comparar la deformación máxima al ser sometidos a distintos pesos puntuales. La experimentación se realizó mediante tres puntos de apoyo, dos de soporte y uno de carga, la adición de peso al objeto de estudio en la parte central así como se muestra en la Ilustración 38 página 108 el peso se fue adicionando hasta encontrar una deformación de cambio significativo en comparación con la medida anterior. Para las toallas sanitarias fabricadas a base de fibra de banano, se comenzó la experimentación con pesos de 50 gramos debido a que con menor peso, no se obtenía una deformación apreciable. Para los

dos tipos de toallas comerciales evaluadas se fue adicionando peso a partir de los 4 gramos, ya que presentaban bastante sensibilidad al peso adicionado.

En Cuadro 49 página 111, se muestra que la deformación máxima para las toallas a base de fibra de banano se alcanzó en 450, 250 y 400 gramos, obteniendo una deformación de  $16.50 \pm 0.01$  mm,  $15.60 \pm 0.01$  mm y  $9.50 \pm 0.01$  mm para cada objeto de estudio respectivamente; la deformación de las toallas sanitarias es muy similar entre sí a pesar que el rango de peso aplicado sea de 250 gramos de diferencia, esta discrepancia puede deberse a que las capas de las toallas sanitarias presenten un grosor distinto, lo cual se puede corroborar en el peso de las mismas, ver Cuadro No. 107 en sección de datos originales página No 213. a pesar de presentar las mismas dimensiones poseen masas distintas que probablemente estén distribuidas de forma no uniforme, haciendo que las toallas tengan distinta resistencia en el punto evaluado. Por otra parte en las toallas sanitarias comerciales de noche, según Cuadro No. 50 página 112, La deformación se alcanzó en un rango de 68.8 g, 56.8 y 44.8 g de peso obteniendo una deformación de  $15.20 \pm 0.01$  mm,  $13.10 \pm 0.01$  mm y  $12.9 \pm 0.01$  mm respectivamente; por último se evaluaron las toallas comerciales de día, según Cuadro No. 51 página 112, En donde la deformación máxima se alcanzó en el momento de aplicar 12.30, 16.4 y 12.3 g de peso para obtener una deformación de  $9.50 \pm 0.01$  mm,  $18.00 \pm 0.01$  mm y  $7.00 \pm 0.01$  mm respectivamente, en este caso la deformación máxima sí varía apreciablemente entre los tres objetos, debido a que en dos pruebas la toalla perdió equilibrio en un extremo (muestras 1 y 3) este fenómeno ocurrió gracias a los dobleces que las toallas sanitarias presentan formados por la presentación de empaque, haciéndolos más propensos a inestabilidad.

Al comparar los dos tipos de toallas sanitarias comerciales, las nocturnas presentan más rigidez que las de día debido a los geles absorbentes extras que se les agrega, haciendo que sea más similar a la toalla sanitaria construida a base de fibra de banano y por consiguiente, mayor resistencia a la deformación. Además se le puede atribuir ventaja a las toallas comerciales debido a los dobleces que presentan causados por la forma en que estos son empacados, por lo que su firmeza inicial se ha visto distorsionada. Las toallas comerciales son más sensible a la deformación con una menor carga de exposición y las toallas sanitarias a base de fibra de banano al ser más rígidas presentarán un ajuste menor al cuerpo femenino que una toalla sanitaria comercial y a partir de 450 g ( $\approx 1$  lb) la toalla sanitaria sede su rigidez y comienza a adaptar forma más fácilmente.

Posteriormente de la caracterización de la materia prima y resultados favorables obtenidos para la creación de pliegos de bobina a base de pasta celulósica de pseudotallo de banano.

Por medio de investigación realizada se estableció que en todas las variedades de banano es posible la extracción de fibra del pinzote. En base a la investigación teórica realizada del pinzote de banano se sabe que la mayor cantidad de fibra se encuentra en el cortex, porque es una estructura distribuida en anillos formada por el xilema y floema donde se encuentra la mayor cantidad de material lignocelulósico (celulosa, hemicelulosa y lignina). Durante la extracción hay que separar los haces de fibra del material liberoleñosos y de los alveolos los cuales tienen grandes contenidos de agua. Por lo que para su extracción se estableció una metodología mostrada en anexos, procedimiento y en la sección de anexo, datos originales Cuadro No. 110.11 y 112 página 214 se observan la cantidad de fibra extraída del cortex de los tres pinzotes que se trabajaron. En los pasos establecidos se debe de llegar al cortex y cortarlo en piezas manejables para poder introducir estas piezas en un molino de rodillos donde se extrae la mayor cantidad de agua posible y así facilitar su posterior extracción. Después se remueven los alveolos y con ayuda de un cuchillo el operador debe de raspar para separar el material liberoleñoso de los haces de fibra. Se debe de limpiar lo mayor posible los haces de fibra hasta obtener una fibra blanca como se muestra en las fotografías en la sección de anexos, procedimiento, extracción de fibra.

Durante este estudio se realizó la extracción de tres pinzotes de banano. Los resultados obtenidos se encuentran en Cuadro No. 53 página 113 donde se puede ver un rendimiento de 3.13%, 2.82% y 3.6% de cada pinzote en lote 1, 2 y 3 respectivamente. El rendimiento se tomó en base al peso del cortex de cada pinzote y a la cantidad en peso de fibra obtenida. Es importante mencionar que debido a que la extracción es un proceso mecánico manual, conforme se va obteniendo más práctica se van obteniendo mejores resultados en las extracciones. En el lote 2 se obtuvo el menor porcentaje de extracción debido a que se utilizó ayuda de operadoras que no habían tenido práctica en dicho proceso. En el lote 3, se obtuvo el mayor porcentaje de fibra extraída porque las operadoras ya habían trabajado antes en extracción y tenían una práctica mayor. Es un factor importante a tomar en cuenta que el rendimiento de extracción puede aumentar mientras los operadores se encuentren más familiarizados con el proceso así como también pueden disminuir los tiempos de extracción.

Se realizaron cinco tratamientos a la fibra obtenida, descritos en el Cuadro No. 54 en la página 114 en la sección de resultados y con mayor detalle en la sección de procedimiento, con el objetivo de disolver la lignina y obtener como productos insolubles la celulosa y hemicelulosa para crear una pasta celulósica. Según la investigación realizada en el marco teórico para la obtención de pasta celulósica existen los métodos mecánicos y químicos. El método mecánico también se probó con las variantes de adición térmica antes y después de la extracción a la fibra. Del proceso químico se probó el método Kraft, el cual es el más utilizado en el mundo para la obtención de pasta celulósica, y se probó también el proceso a base de sulfito. En el

tratamiento mecánico se trabajó a temperatura ambiente donde se cortó la fibra extraída en pedazos de alrededor 1 cm y se colocó en una licuadora industrial con 30 partes de agua por una de fibra. La relación de agua se obtuvo experimentalmente para el buen funcionamiento de la licuadora industrial. La fibra se cortó para evitar que los largos haces de fibra trabaran las cuchillas de la licuadora. La licuadora industrial tiene como propósito crear cortes a la fibra y romper la pared celular. El agua se agregó para evitar trabar la licuadora y así generan más cortes con la fibra en una solución de agua. En este tratamiento no se obtuvo una pasta celulósica como se puede observar en la sección de anexos, ilustraciones de resultados de tratamientos, Ilustración 142, página 338. Lo que se obtuvo fue la fibra cortada en menor longitud, por lo que no se cumplió con el objetivo de romper la pared celular.

Como segundo y tercer tratamiento se decidió aplicar calor a la fibra y posteriormente el tratamiento mecánico para determinar si el calor ayuda a suavizar los tejidos y que se requiera menor fuerza de corte para lograr romper la pared celular. El tratamiento térmico se aplicó en dos vías. La primer vía fue un pre-tratamiento térmico donde se calentaron los pedazos de pinzote en agua a 88.9-98.5°C por 2 horas. Seguido de esto se extrajo y limpio la fibra, como se describió en el procedimiento de extracción, y se realizó el tratamiento mecánico como antes descrito. En este tratamiento no se obtuvo una pasta celulósica como se puede observar en la sección de anexos, ilustraciones de resultados de tratamientos, Ilustración 143, página 339. Lo que se obtuvo fue un resultado similar al del tratamiento mecánico, esto quiere decir que el pre-tratamiento térmico no ayuda a suavizar los tejidos de la fibra. La segunda vía fue un post-tratamiento térmico donde se extrajo y limpio la fibra, como se describió en el procedimiento de extracción, y la fibra obtenida se calentó con agua a temperaturas de 88.9-98.5°C por 2 horas. Se realizó el tratamiento mecánico como antes descrito. No se obtuvo una pasta celulósica como se puede observar en la sección de anexos, ilustraciones de resultados de tratamientos, Ilustración 144, página 340. Lo que se obtuvo fue un resultado similar al del tratamiento mecánico y pre-tratamiento térmico, esto quiere decir que el calor no ayuda a suavizar los tejidos de la fibra para facilitar la ruptura de la pared celular por medio de fuerzas de corte.

Debido a que no se logró romper la pared celular por medio de fuerza de corte y la aplicación térmica, como se puede observar en la sección de anexos, ilustraciones de resultados de tratamientos, Ilustración 143 y 144, se optó por acudir a los métodos químicos donde se aplica un reactivo para descomponer la lignina. Como cuarto tratamiento se realizó el proceso Kraft, el cual es el tratamiento más utilizado en el mundo para degradación de lignina. Primero se realizó la impregnación de la solución de hidróxido de sodio al 15% (p/p) por 4 horas, según indica el método. El objetivo de la etapa de impregnación es la penetración de la solución de hidróxido de sodio en la estructura capilar de la fibra para que se lleven las reacciones químicas a cabo. El hidróxido de sodio rompe los enlaces entre la lignina y los carbohidratos,

separando la lignina de la celulosa y hemicelulosa. El material obtenido se lava para que los licores de cocción se separen de la fibra de celulosa. Posteriormente se realizó el tratamiento mecánico para romper las paredes celulares y obtener la celulosa y hemicelulosa. No se realizó una etapa de blanqueamiento que tiene como objetivo blanquear la pasta marrón debido a que este procedimiento es de gran contaminación ambiental para los ríos ya que se vierten grandes cantidades de cloro, ozono y peróxido de hidrógeno y puede repercutir en los seres vivos. También en la etapa de blanqueado se disminuye la pasta producida en un 5% y no se planteó como objetivo un color específico de bobina porque su uso posterior es para una toalla sanitaria natural, por lo que se utiliza la pasta celulósica del color que se obtiene. En este tratamiento si se obtuvo una pasta celulósica como se puede observar en la sección de anexos, ilustraciones de resultados de tratamientos, Ilustración 145, página 341. Esto quiere decir que el método Kraft separó la lignina de la celulosa y hemicelulosa y facilitó la ruptura de la pared celular por medio de fuerzas de corte. Como objetivo se tiene planteado la propuesta del proceso de producción tipo planta artesanal para colocar la planta en la Finca Primavera, por lo que se evaluó la materia prima utilizada. El hidróxido de sodio tiene alto nivel de toxicidad a la piel y ojo por lo que para su manejo se requiere de equipo de protección personal como lentes, bata, guantes y se debe de trabajar en una campana como lo indica su información reglamentaria (apéndice, información reglamentaria). El hidróxido de sodio indica un tres en peligro a la salud. Por lo que el manejo de este compuesto químico es de mucho cuidado y debe de ser trabajado en un laboratorio con campana y equipo de protección personal. Por lo que para la propuesta de producción tipo planta artesanal no es una buena opción este tratamiento. La propuesta tipo planta artesanal hace énfasis en que es una producción realizada por las mujeres de la finca con equipos no sofisticados y procesos elementales, libres de altas toxicidades y de fácil compresión y manejo.

Se buscó como alternativa un proceso de soda modificado, realizando el proceso de soda descrito en la sección de antecedentes con la modificación de utilizar como reactivo óxido de calcio. El óxido de calcio no es tóxico pero puede causar una ligera irritación en ojos y piel por lo que para su manejo se requiere el uso de lentes y guantes. Su información reglamentaria indica un uno en peligro a la salud, por lo que el manejo de este compuesto químico es más flexible y no requiere mayor cuidado como lo es el hidróxido de sodio. Como quinto tratamiento se propuso el tratamiento de soda modificado utilizando óxido de calcio como reactivo. Primero se realizó la solución de óxido de calcio al 30% en agua donde reacciona de manera exotérmica el óxido de calcio con el agua y se dio como producto el hidróxido de calcio. Para el manejo del hidróxido de calcio su información reglamentaria (apéndice, información reglamentaria) indica un 1 en peligro a la salud por lo que este tratamiento es menos dañino para el operario que el método Kraft y con protección de guantes y lentes se puede hacer su manipulación adecuada. Después se realizó la impregnación de la solución de hidróxido de calcio al 30% (p/p) por 4

horas. En esta etapa sucede la misma reacción química que en el proceso Kraft, pero con menor eficiencia debido a que el hidróxido de calcio es una base más débil que el hidróxido de sodio por lo que el rompimiento de enlaces entre la lignina y los carbohidratos es menor causando una menor separación entre la lignina, celulosa y hemicelulosa. Es por esto que en este tratamiento como primera prueba se dedujo agregar el doble de reactivo a la solución para esperar resultados similares a los del método Kraft. El material obtenido se lava para que los licores de cocción se separen de la fibra de celulosa. Posteriormente se realizó el tratamiento mecánico para romper las paredes celulares y obtener la celulosa y hemicelulosa. Con este tratamiento se obtuvo una pasta celulósica de menor calidad que la obtenida en el proceso Kraft como se puede observar en la sección de anexos, ilustraciones de resultados de tratamientos, Ilustración 146, página 342, donde todavía se logran observar entre la pasta celulósica obtenida ligeros haces de fibra, pero el resultado obtenido es aceptable debido a que la bobina obtenida de esta pasta celulósica es rígida y manejable, por lo que cumple con los requisitos.

Se evaluó el costo de los dos tratamientos que si obtuvieron pasta celulósica, tratamiento por el método Kraft y mecánico y tratamiento de soda modificado y mecánico. Los costos en base a materia prima tomando como referencia el lote 1 se pueden ver en los resultados en los cuadros No. 55 y 57 página 115. El tratamiento por el método Kraft tiene un costo de Q18.41 y tratamiento por el método proceso soda modificado tiene un costo de Q4.33. Por lo que es bastante más económico el proceso de soda modificado y en cuanto a la obtención de materia prima, el óxido de calcio se puede encontrar con mayor facilidad en las ferreterías guatemaltecas debido a que es de uso común para otras aplicaciones, por lo que es un reactivo más accesible. El equipo necesario para llevar a cabo los dos tratamientos es el mismo el cual está descrito en la sección de apéndice, procedimiento, tratamientos. Comparando el gasto de energía eléctrica en los dos tratamientos, cuadros No. 56 y 58 página 115 y 116, se puede observar que es el mismo ya que los dos métodos requieren la misma cantidad de tiempo de impregnación y de tiempo de licuado, dando como resultado Q10.18. En cuanto al grado de dificultad de los procedimientos presentan los mismos pasos pero en la seguridad del método como se explicó anteriormente el método de soda modificado trabaja con reactivos de menor toxicidad, no se requiere de campana y el operario tiene mayor protección trabajando con reactivos menos tóxicos y únicamente utilizando a la hora de su manipulación guantes, lentes y bata y tomando en cuenta las medidas de seguridad básicas. Por lo que el mejor tratamiento evaluando los aspectos de costo de materia prima, equipo y electricidad y comparando el grado de dificultad y seguridad del operario es el tratamiento de soda modificado y mecánico.

Se llevaron a cabo los siguientes pasos para disminuir cantidad de reactivo y tiempos para crear pasta celulósica al menor costo por el método de soda modificado y mecánico. Se varió la solución de óxido de calcio de 25%, 10% y 5% (p/p) una temperatura de 50-60°C. Se

sacó muestras cada media hora por 4 horas. Las muestras se colocaron cada una individualmente en la licuadora industrial y se determinó si se creó pasta celulósica. Se puede observar el detalle del procedimiento en la sección de apéndice, procedimiento. Con la solución de 30% (p/p) que se probó inicialmente junto con el método Kraft, si se obtuvo pasta celulósica a las 4 horas. En esta primera prueba no se sacaron muestras cada media hora debido a que solamente se deseaba probar si el método era factible. Después al realizar las demás soluciones indicadas se fue muestreando contra el tiempo para determinar en base a costos cual porcentaje de reactivo en la solución y tiempo de reacción si cumple con la formación de pasta celulósica a menor costo. En el Cuadro No. 117 página 2116 en la sección de apéndice, datos originales se puede observar a detalle en las condiciones que si se creó pasta celulósica. Al probar la solución de 25% (p/p) se obtuvo pasta celulósica a partir de las dos horas de reacción, la solución de 10% (p/p) se obtuvo pasta celulósica a partir de 2.5 horas de reacción y la solución de 5% (p/p) se obtuvo pasta a partir de las 3.5 horas de reacción. En la sección de anexos, ilustraciones de resultados de tratamientos, Ilustración 147 a 170, páginas 343 a 366. se pueden observar las muestras. A medida que se agrega menor reactivo, la reacción se lleva a cabo más lentamente y se debe de tener un mayor tiempo de reacción. En el Cuadro No. 59 página 117, en la sección de resultados se muestran los costos de las condiciones de porcentaje de reactivo y tiempo de reacción que sí tuvieron éxito. Se utilizó una base de cálculo de 10 kg de agua utilizada para calcular los costos para la solución. Como se muestra en Cuadro No. 59 página 117 el costo menor es de Q7.7, a condiciones de 10% (p/p) de óxido de calcio en la solución, temperatura de 50-60°C y un tiempo de encendido de resistencia de 2.5 horas, equivalente al tiempo de reacción. Por lo que a estas condiciones se estableció el costo menor del tratamiento de soda modificado. En la sección de anexos, ilustraciones de resultados de tratamientos, Ilustración 159, página 355, se pueden observar las muestra a 10% (p/p) y tiempo de 2.5 horas; todavía se logran observar entre la pasta celulósica obtenida ligeros haces de fibra, pero el resultado obtenido es aceptable debido a que la bobina obtenida de esta pasta celulósica es rígida y manejable, por lo que cumple con los requisitos.

El procedimiento después de obtener la pasta celulósica para la realización de los pliegos de bobina se describe detalladamente en el área de apéndice, procedimiento. Es importante trasladar la pulpa obtenida a un área adecuada donde se pueda maniobrar con el marco, en este procedimiento se utilizó una pila. La pulpa celulósica va a tomar la forma del marco que se utilice, en este caso fue de 19X14 in ya que es un tamaño adecuado para su maniobra y permite obtener pliegos de bobina de buen tamaño. Debido a las normas COGUANOR NGO 46 032 h1 que debe de cumplir la toalla sanitaria es que posea un pH entre 5.5-6.5. Por lo que se verifica el pH, que usualmente se encontrara al pH del agua utilizada ya que esta se encuentra en mayor proporción en la solución. Se optó por la opción de utilizar jugo de limón para disminuir el pH a un rango de 5.5-6.5 debido a que tiene un pH ácido, es una

materia prima con pH ácido de 2-3 por lo que con una pequeña cantidad logra disminuir el pH de la solución, también es barato y fácil de aplicar. Por lo que antes de la realización de las bobinas se debe de verificar con el potenciómetro al pH que se encuentra la solución y si se debe de disminuir agregar de 10ml-30ml de jugo de limón hasta medir un rango de pH de 5.5-6.5. Cuando se sumerge el marco se debe de realizar un movimiento suave para esparcir la pasta celulósica en todo el marco y cuando se saca es importante dejar escurrir el exceso de agua en el marco y darle vuelta con cuidado para que la pulpa se desprenda rápido y así formar el pliego. El pliego se debe de dejar secando bajo el Sol y de preferencia en una superficie negra como un nylon para favorecer el secado. Los pliegos creados en los tres lotes se secaron en un promedio de 1-2 horas como se observa en la sección de datos originales, cuadros No. 118, 119 y 129 en página 218 y 219. Un factor importante es la humedad relativa del ambiente la cual se mantuvo en los tres lotes realizado entre 53-58%. Si la humedad relativa del ambiente es mayor a este rango se puede tardar más en secarse los pliegos, también si la temperatura ambiente es menor y no se logra alcanzar una temperatura superficial en el nylon de alrededor 47-60°C, como se obtuvo en el secado de los 3 lotes. Dependiendo de la cantidad de fibra extraída es la cantidad de pulpa celulósica obtenida y por lo tanto la cantidad de pliegos obtenidos en cada lote. En el lote 1 se obtuvo 1.18 gramos de fibra después de lavados y 16 pliegos de bobinas, en el lote 2 se obtuvo 0.64 gramos de fibra después de lavado y 9 pliegos de bobina y en el lote 3 se obtuvo 1.05 gramos de fibra después de lavado y 13 pliegos de bobina. Mientras más fibra se obtenga de la extracción más pliegos de bobinas se realizan. Cuando los pliegos se encuentran completamente secos se pasan por un molino de rodillos para alisar su superficie y así estar listo para la su diseño como toalla sanitaria.

Para la instalación de la planta artesanal en la Finca Primavera se realizaron cálculos del equipo y materiales necesarios para realizar el procedimiento. Como inversión inicial de materiales para la extracción de fibra, tratamiento por el proceso de soda modificado y mecánico y la realización de las bobinas se tiene un costo de Q6,118.00, detallado en el Cuadro No. 60 en página 118 en la sección de resultados. Las cotizaciones de los materiales se encuentran en la sección de apéndice, cotizaciones donde se puede ver a detalle el costo de cada material con su descripción. La inversión inicial del equipo es de Q30,734.99 donde se incluyó un molino de rodillos, licuadora industrial y una resistencia eléctrica, Cuadro No. 61 página 119. Se puede observar el detalle del equipo en la sección de apéndice, datos de placa y en la sección de apéndice, cotizaciones. Se realizó un cálculo de la instalación de la planta utilizando el método del factor múltiple obtenido del *Chemical Engineer's Handbook*, Perry, chapter 9, página 9-68 process economics (Perry, 1999). El método se basa en utilizar factores para estimar el costo total de instalación de una planta tomando en cuenta materiales, mano de obra, gastos generales, el costo de los principales elementos de los equipos, instalación completa, equipo auxiliar, gastos de ingeniería y los honorarios del contratista. Como dato base se requiere el

costo de los equipos de la planta. En el Cuadro No. 62 página 119 en la sección de resultados se puede observar el a detalle los factores utilizados, dando un costo total de Q91,590.27. Se tomó en cuenta el equipo, instalación, tubería, electricidad, instrumentos, batería y servicios, excavación y auxiliares de la planta. El factor más alto es el de servicios auxiliares de 0.52, pero si se toma en cuenta que el lugar donde se va a colocar la planta ya cuenta con esto se puede ahorrar esta inversión y así disminuir este costo.

Se determinó el costo del pliego de bobina de 19X14 in partiendo del pinzote de banano, tomando en cuenta la materia prima, materiales y equipo de toda la metodología. Se calculó el costo de cada pliego de bobina con base en la cantidad de fibra obtenida en cada uno de los 3 lotes, se puede observar este cálculo a detalle en la sección de datos calculados Cuadro No. 117 página 241 . En los resultados Cuadro No. 63 página 120 se puede observar que el costo vario para lote 1,2 y 3 de Q0.80, Q0.92 y Q0.64 de cada pliego de bobina respectivamente. Mientras más fibra se extraiga de cada tronco, más pasta celulósica se va a obtener y más bobinas se van a obtener a un menor precio. La variación de precio radica en el hecho que el costo de la resistencia eléctrica para el tiempo de reacción de 2.5 horas es el único que no es un factor respecto a la cantidad de fibra obtenida como el agua y el reactivo. Por lo que el costo de electricidad por 2.5 horas de encendido va a ser el mismo, pero mientras más fibra se coloque el costo se diluye. Si se realiza un proceso continuo y no por lotes como el realizado en esta experimentación, el costo de la energía en la resistencia eléctrica se puede disminuir y mantener constante agregando la mayor cantidad de fibra, reactivo y agua, respetando las relaciones establecidas en la metodología, en la olla para aprovechar al máximo toda la olla y diluir lo mayor posible el costo de energía eléctrica.

Por último se desarrolló una metodología donde se explican los pasos detalladamente para la obtención de bobinas a base de pasta celulósica de banano para la fabricación de una toalla sanitaria biodegradable con los pasos desde la extracción de fibra, tratamiento y realización de pliegos de bobina. El procedimiento se explica con fotografías en la sección de anexos, procedimiento y un resumen en la sección de resultados Cuadro No. 64 página 121. También se realizó un manual para una mayor comprensión y familiarización del usuario con el procedimiento realizado en otro módulo de este megaproyecto.

Con los pliego de papel obtenidos se procedió a la elaboración de una toalla sanitaria usando estos creando un producto que pueda suplir la necesidad de las mujeres y que sea económicamente accesible. Se evaluaron los diferentes prototipos planteados utilizando como base las normas establecidas por la Comisión Guatemalteca de Normas (COGUANOR), las cuales hacen referencia a la capacidad de absorción, velocidad de absorción, pH y control

microbiológico de los productos higiénicos. También se utilizó información recopilada de otros estándares internacionales para el diseño de toallas sanitarias.

Con el objetivo de adquirir conocimientos sobre la construcción de una toalla sanitaria convencional, se estudiaron diferentes modelos y marcas comerciales. Se evaluaron los diferentes diseños, materiales, tamaños, las capas, y precios. Todas las toallas sanitarias examinadas funcionan de manera muy similar, aunque varían algunos detalles mínimos. Se seleccionó como comparación para el prototipo una toalla sanitaria comercial para flujo regular, entre todas las opciones existentes, este producto se seleccionó debido a que su precio de venta era bajo. Como se menciona en el marco teórico, los materiales que se utilizan para su manufactura son bastante similares, por lo que está compuesta por una capa externa de polietileno o polipropileno que evita que el líquido no se derrame, debido a su material esta impide que las toallas comerciales sean biodegradables. También consta de una capa absorbente la cual generalmente es de algodón (material celulósico) comprimido, la cual se combina en ocasiones con geles o polímeros superabsorbentes que ayudan a retener de mejor manera el líquido. La superficie adhesiva de la toalla sanitaria convencional que se adhiere a la ropa interior evita que esta se mueva. Debido a que el objetivo final de este trabajo era diseñar una toalla sanitaria biodegradable, no podíamos utilizar ninguno de los aditivos antes mencionados, siendo esta nuestra primera limitante a la hora de diseñar los diferentes prototipos.

En la fase inicial del proceso de desarrollo, se consideraron ambos conceptos: reutilizables y desechables. El concepto de toalla reutilizable se centró en tener una almohadilla reutilizable combinada con la fibra recién extraída, mientras que, con el concepto desechable se buscaba hacer una toalla sanitaria completamente de la fibra del pinzote de banano. Las ventajas y desventajas de cada solución dependen del contexto en el que se va a utilizar. La ventaja que tiene una toalla sanitaria de tela es la posibilidad que tendría el usuario ajustar la cantidad de absorbente que se puede poner dentro, dependiendo de cuánto flujo menstruación se tenga. El relleno absorbente se tendría cambiar un par de veces cada día, pero ya que es biodegradable, su impacto ambiental sería extremadamente bajo, al igual que tener un producto desechable ya que estaría compuesto completamente de fibra de banano. Debido a que nuestra toalla sanitaria está dirigida a mujeres de escasos recursos en áreas rurales de Guatemala, se tomó en cuenta el tema del acceso a servicios básicos, agua y jabón para el lavado de la misma. Se decidió que el producto final debería de ser desechable en su totalidad, ya que una toalla sanitaria reutilizable necesita ser lavada. En los primeros tres prototipos planteados las capas fueron unidas de forma manual con fibra recién extraída (Ilustración 172, página 368). Estos prototipos no contaban con perforaciones en la capa superior, por lo que al realizarles pruebas de capacidad de absorción esta era muy baja, el líquido de prueba se derramaba rápidamente a

los lados. Para simular el flujo menstrual en las toallas sanitarias fabricadas se realizó una solución que tuviera una consistencia similar a la sangre (solución Meds). Los reactivos y cantidades utilizadas se obtuvieron de la norma COGUANOR NGO 46 032 h3. La goma arábica cumplió la función de espesante de la solución. Por otro lado, el porcentaje de cloruro de sodio agregado, es la proporción que generalmente se encuentra en la orina, esta concentración de electrolitos causa la liberación de agua en la celulosa y los polímeros absorbentes que generalmente se encuentra en las toallas comerciales. Por lo que al utilizar esta solución para realizar las pruebas permite tener una buena aproximación de las condiciones reales a las que estará expuesta la toalla sanitaria. Se determinó la densidad promedio de la misma, siendo esta  $1.1185 \pm 0.0022$  g/mL. Esta solución se utilizó posteriormente para todas las pruebas de absorción.

Los aspectos principales para el desarrollo de las mejoras del prototipo inicial, fueron determinar la forma adecuada de sujetar las diferentes capas entre sí, cómo reducir al mínimo las fugas y cómo utilizar de manera eficiente los materiales que se tienen a disposición. En cuanto a las dimensiones de una toalla sanitaria, se decidió utilizar las dimensiones ya establecidas por las toallas nocturnas convencionales. Se decidió sujetar todas las capas mediante una costura de hilo de algodón, utilizando una máquina de coser plana. Así como realizar perforaciones de forma manual a la capa superior, para permitir que el fluido tenga contacto con el relleno de la toalla sanitaria y con las demás capas que la conforman. Se hizo una prueba realizando una doble costura en la orilla de la toalla, para ver si esto evitaba que el fluido se derramara (Ilustración 173, página 368). También se buscó establecer un método adecuado de fijación de la toalla sanitaria en la ropa interior. Se consideró el hecho de atar la toalla sanitaria, mediante hilo de algodón o hilos de fibra del pinzote de banano a la ropa interior. Pero como propuesta final se determinó el uso de alas plegables para la fijación de la toalla sanitaria, ambas alas se juntarían mediante un dobles o un corte que permitiese la inserción de una en la otra (Ilustración 174, página 368). Para disminuir el riesgo de derrame se planteó otro tipo de costura, mediante el uso de una maquina overlock (Ilustración 175, página 369). Pero por cuestiones de estética y comodidad, se decidió utilizar una puntada plana.

El producto final tiene alas plegables y costa de cinco capas. El tamaño se redujo, se utilizaron las dimensiones de una toalla sanitaria normal para flujo regular. Se imprimieron patrones con las nuevas dimensiones, los cuales se utilizaron posteriormente para la producción de las toallas sanitarias. De esta forma se garantizó que todas tuvieran dimensiones similares. Se estableció que la capa central absorbente de la toalla sanitaria se rellenaría con las orillas residuales de la bobina, de esta forma se aprovecha este material que se tiene como remanente. Estos residuos no se pueden utilizar para hacer otra capa debido al tamaño de los pedazos. El producto final tuvo una costura sencilla, hecha con una maquina plana. El hilo utilizado es hilo de algodón, no se puede utilizar hilo mercelizado debido a que este se le agrega

un recubrimiento en la superficie que no permite que este se degrade fácilmente, nuestro producto debe de ser biodegradable. Se realizaron orificios tanto a la capa superior, como las siguientes dos capas (Ilustración 15, página 123) que conforman el centro de la toalla. Se utilizó la máquina de coser sin hilo. Estos orificios se realizaron con el objetivo de incrementar la velocidad de absorción de la toalla sanitaria. Permitiendo que el fluido ingresara en el centro de la misma, donde se encuentra material absorbente para atrapar el fluido. Debido a que la velocidad y capacidad de absorción de un producto sanitario es muy importante, este parámetro es un indicador de la funcionalidad de la toalla sanitaria ante una descarga de flujo menstrual. Por lo que la toalla debe responder rápidamente para que no se tengan derrames.

Otro fenómeno que se da de manera simultánea es la adsorción, aunque este no es específicamente evaluado por la Comisión Guatemalteca de Normas. Es importante diferenciar entre el fenómeno de adsorción y el de absorción, en el segundo existe una penetración física de una fase en la otra; sin embargo, es factible que ambos sucedan simultáneamente, y en este caso puede ser muy difícil separar los efectos de ambos fenómenos, inclusive un fenómeno puede afectar al otro. Alguno de los modelos usados para llevar acabo análisis adsorción describen la resistencia a la transferencia de masa de la fase líquida a la superficie externa de la partícula de adsorbente (resistencia a la difusión de la película), el movimiento dentro de los poros de la partícula (resistencia a la difusión dentro de la partícula), y la interacción química en el sitio de unión del adsorbente (resistencia a la reacción en la superficie). Estas expresiones son difíciles de determinar experimentalmente o bien su estimación no es muy precisa, debido a la heterogeneidad del material, al entramado de la fibra y la porosidad de la misma, se pueden lograr algunas simplificaciones de los modelos existentes asumiendo un parámetro global que explique la de forma matemática la velocidad de transferencia de masa.

Del primer lote de producción se obtuvo 81 capas y catorce toallas, del segundo lote se obtuvo 85 capas y 14 toallas, del último lote 36 capas y cinco toallas. Se analizaron once toallas del primer lote, doce del segundo y cinco del tercero. Del primer y segundo lote, se utilizaron 5 toallas para realizar pruebas de capacidad de absorción. Se obtuvo como resultado un promedio de  $12.24 \pm 0.05$  mL de solución Meds absorbida para las toallas del primer lote y para el segundo  $12.28 \pm 0.05$  mL. Del tercer lote únicamente se pudieron evaluar dos toallas, de las cuales el promedio de solución absorbida fue de  $12.22 \pm 0.05$  mL. Según la norma COGUANOR NGO 46 032 h3 la capacidad mínima de absorción de una toalla sanitaria comercial es de 14 mL, sin embargo, diferentes estándares determinar que una toalla sanitaria regular debe absorber de 5 a 20 mL. Estas cantidades no serán las mismas para nuestro producto, debido a que como se menciona en el marco teórico, las toallas comerciales están compuestas de un centro súper absorbente con geles. Nuestro producto está compuesto únicamente por la fibra de celulosa extraída previamente del pinzote de banano. La absorción de la toalla sanitaria se debe a las características físicas del entramado de las fibras en los pliegos (absorción por

capilaridad) y a las propiedades químicas de la celulosa, que le permiten el establecimiento de múltiples puentes de hidrógeno entre los grupos hidroxilo de las moléculas de glucosa que la conforman y las moléculas de agua presentes en el fluido menstrual. Como lo expresa Rubera, la pulpa de celulosa sumergida en una solución salina puede absorber hasta cuatro veces su peso y como se determinó anteriormente de forma experimental utilizando la norma ASTM,2001 “Prueba de retención de agua para textiles” la fibra extraída del pinzote de banano al ser sumergida en agua puede absorber de 120 a 150 veces su peso. Pero si las comparamos con la capacidad de absorción de un polímero súper absorbente (SAP), este puede absorber 60 veces su peso al ser sumergido en una solución salina (solución Meds) y 300 veces su peso al ser sumergido en agua. Esto afecta directamente en la capacidad y en la rapidez de absorción de producto evaluado. Por lo que se considera que las toallas sanitarias evaluadas pasan dicha prueba.

Para determinar la velocidad de absorción de las toallas sanitarias, se realizaron pruebas a dos toallas del lote 1 y dos del lote 2, del tercer lote únicamente se pudo utilizar una toalla, debido a que no se contaba con más muestras para realizar la prueba. En cada toalla se cortaron 2 cuadros de 6.2 cm de largo y de ancho, siguiendo los parámetros establecidos por la norma COGUANOR NGO 46 032 h3. Se utilizó como parámetro de comparación una toalla sanitaria comercial, a estas muestras se les removió el recubrimiento plástico para solo utilizar la parte absorbente que la conforma como se ve en la Ilustración 182, página 372. En total se analizaron 11 muestras, el valor promedio obtenido para el primer lote fue de  $48.02 \pm 3.00E-4$  s, para el segundo lote fue de  $49.03 \pm 3.00E-4$  s y de para el tercer lote  $42.16 \pm 3.00E-4$  s. El valor obtenido de la toalla comercial fue de  $3.38 \pm 3.00E-4$  s. Como se explica en el marco teórico, la velocidad de absorción es el tiempo requerido para que se difunda el líquido a través del espesor de la toalla, el valor máximo teórico es de 10 segundos. También se determinó el factor de capacidad de absorción de cada muestra, este representa los gramos de agua absorbida por gramo de material de relleno. El valor promedio obtenido para el primer lote fue de  $7.37 \pm 0.03$ , el valor obtenido en el segundo lote fue de  $7.27 \pm 0.03$  y para el tercer lote fue de  $7.69 \pm 0.03$ . El valor obtenido por la toalla comercial fue de  $13.63 \pm 0.09$ . Estas diferencias se deben a los geles súper absorbentes que tienen las toallas comerciales, nuestro prototipo es natural a base de fibra de pinzote de banano. A pesar de las diferencias, se considera que el producto satisface los requerimientos básicos necesarios, debido a que, si tienen una alta capacidad de absorción, aunque a una menor velocidad. Las toallas sanitarias convencionales requieren de cumplir estos altos estándares debido a la que en la actualidad existen diferentes marcas de toallas sanitarias, las cuales compiten para ofrecer el producto con las mejores características que las tecnologías actuales les permiten ofrece. Según Faser, el fluido menstrual de una mujer es de 85 mL los cuales se distribuyen en un periodo de aproximadamente 5 días. Por lo que se tendría alrededor de 17 mL de flujo diario, se puede

estimar que 3 toallas sanitarias serían suficientes para cubrir con las necesidades básicas de una mujer, validando así el prototipo planteado.

El siguiente análisis realizado fue la medición de pH, este a cada toalla sanitaria producida. El valor promedio obtenido para el primer lote fue de  $8.965 \pm 0.001$  y para el segundo lote de  $9.052 \pm 0.001$ . Al obtener estos resultados se determinó que no cumplían con los requisitos establecidos por la norma. Ya que según la norma COGUANOR NGO 46 032 h1, este valor debe de estar en un rango de 5 a 7. Debido a que esta es una zona muy delicada, el pH no puede ser ácido, ni básico, así evitar alguna quemadura o irritación por el uso del producto. Por lo que se hicieron modificaciones al proceso de producción de las bobinas y del tercer lote se obtuvo un valor de  $6.860 \pm 0.001$ , pasando así los estándares de calidad establecidos. El análisis de pH de la toalla comercial se realizó en triplicado, teniendo un valor promedio de  $7.017 \pm 0.001$ . El valor de la toalla comercial se encuentra ligeramente arriba del rango, a diferencia del producto final propuesto.

Posteriormente se realizó una prueba microbiológica a dos toallas del primer lote, dos toallas del segundo y uno del tercer lote, se utilizó un gramo de muestra para cada análisis realizado. Para llevar a cabo dicha prueba se realizó una solución peptonada al 0.1%, se esterilizó, así como de toda la cristalería utilizada para la realización de la prueba. Se utilizaron como medios de cultivo placas de Petrifilm de la marca 3M, éstas ya están listas para usar. Generalmente en la industria alimentaria se utilizan mucho, debido a que representan un ahorro de tiempo y de costos en comparación a los otros métodos para evaluar la cantidad de microorganismo presentes en una muestra. Para comprobar la asepsia de la solución y el equipo utilizado, se realizaron blancos, los cuales contenían 1 mL de la solución peptonada. Las muestras se dejaron incubar a 30°C durante 48 horas. Se consideraron representativas las muestras que tuvieron un número de colonias dentro del rango de sensibilidad del método, en este caso, entre 25 y 250 unidades de colonias formadoras por gramo de muestra (UFC/g). El valor promedio obtenido de UFC para el primer lote fue de 4500. Para el segundo lote únicamente se tomó el valor de la segunda muestra evaluada, siendo esta de 2900. La primera no era representativa, ya que se tenían menos de 25 colonias por placa. Para el tercer lote se tomó el valor de la primera muestra como resultado, siendo esta de 5100. La segunda muestra no era representativa. También se realizó un análisis a una toalla sanitaria comercial, el resultado obtenido fue de 4400 UFC/g. El valor máximo tolerado por la norma COGUANOR NGO 46 032 h3, es de un máximo de 1000 UFC/g, como se puede ver en los resultados antes mencionados, la toalla comercial evaluada no pasa los estándares de dicha norma. Al observar los resultados obtenidos de las toallas elaboradas a partir de las bobinas de pinzote de banano, estos valores tampoco pasan el rango máximo especificado por la norma, aunque el producto final no debe de ser totalmente escéptico debe de cumplir con ciertos estándares. Por lo que

para corroborar si era necesaria una esterilización del producto terminado, se esterilizo una muestra de cada lote, se esterilizaron en una autoclave en un rango de 121 a 132 °C. Las muestras presentaron menos de 25 colonias formadoras por placa, por lo que se considera importante este proceso después de la producción de las toallas. Otra alternativa que se podría llevar acabo es esterilizar todo el equipo utilizado para la elaboración de las misma, debido a que en la etapa de producción de las tollas estas se contaminan por la manipulación de la materia prima, así como el equipo utilizado para su elaboración.

Para determinar la biodegradabilidad del prototipo propuesto, se realizó una prueba de enterramiento de las muestras, se utilizaron tres toallas del primer lote, dos del segundo y una del tercer lote. Simultáneamente se enterraron tres toallas comerciales para flujo regular. Las muestras analizadas no tenían flujo menstrual, debido que para fines didácticos y la posterior limpieza de las muestras no era factible realizar así las pruebas. La química de la materia orgánica es compleja, por lo que se recurrió a únicamente determinar por peso la cantidad de materia orgánica que se iba perdiendo con el tiempo. La metodología de análisis que se siguió es debido a que el principal componente de las toallas sanitarias fabricadas a partir del pinzote de banano es la celulosa, se espera que este producto se degrade fácilmente y completamente en un espacio relativamente corto de tiempo. Por lo que las muestras fueron enterradas y extraídas para su análisis en un periodo de 30, 60, 80 días. Éstas se enterraron por separado en recipientes plásticos, como se puede ver la Ilustración 185, página 374. Según Arshad y Mujahid el suelo es muy rico en microorganismo en una capa de 5 a 15 cm de la superficie. Por lo que fueron enterradas a una profundidad aproximada de 5 cm, ya que como se menciona en el marco teórico, la descomposición de la materia orgánica se encuentra sujeta a la cantidad de microorganismos presentes. Otros factores que influyen en la velocidad de degradación son la cantidad de agua en la tierra, la temperatura, pH, entre otras. Por lo que la humedad de la tierra se mantuvo dentro de un rango de 20 a 30% de humedad. Para la limpieza de las muestras se utilizó una solución de etanol / agua (70% / 30% de fracción volumen), el etanol elimina toda el agua que se encuentra presente dentro de la fibra. Se dejaron secar las muestras durante 24 horas en un horno a 80 °C, para posteriormente tomar el peso de cada muestra. Después de pesarlas, las muestras se volvieron a enterrar, debido a que no se contaba con más muestras para realizar dicho análisis. Con los pesos obtenidos en cada uno de los periodos de análisis y el peso inicial, se calculó el porcentaje de la pérdida de peso da cada muestra. El valor obtenido en el día 80 para el lote 1 fue de 78.92%, para el segundo lote fue de 84.73% y para el tercero fue de 68.49%. En el caso de las toallas comerciales el valor obtenido en el día 80 fue de 51.70%. Con base en los resultados obtenidos, se puede determinar que las toallas sanitarias fabricadas a partir del pinzote de banano tuvieron una mayor pérdida de masa en relación a las comerciales en el mismo periodo de tiempo. Como se ve en las Ilustraciones 187 a 193, páginas 375 y 377, la degradación de las toallas sanitarias fabricadas a partir del pinzote

de banano se dio de forma uniforme. A diferencia de las comerciales, de las cuales únicamente se degradó el relleno de la misma. Esto se debe a que como se explicó, el centro de la toalla sanitaria está compuesto generalmente de materiales celulósicos (algodón). El recubrimiento exterior plástico no presentó una barrera para las bacterias degradadoras (Ilustración 193, página 377).

El costo total se divide en el costo promedio del pliego de bobina, el costo de la cantidad de hilo de algodón y el costo de energía eléctrica utilizada. Para la producción de una toalla sanitaria se utiliza un pliego completo, el costo promedio obtenido anteriormente durante para la producción del pliego es de Q 0.79. También se utilizó para la elaboración de la toalla sanitaria hilo de algodón, siendo el precio de un cono de 5000 metros de Q 9.30. Se utilizó en promedio 3.5 metros de hilo por toalla, teniendo un costo de Q 0.0065 por unidad producida. Por último, los kilowatts consumidos fueron calculados con los datos de placa de la máquina de coser utilizada, Brother modelo PS-3100, el tiempo que se mantuvo encendida y el costo de la electricidad en Finca Primavera, siendo este de 1.18 Q/ kWh. El costo de la electricidad consumida es de Q 0.015. El costo total para la producción de una toalla sanitaria biodegradable es de Q0.81.

El proceso de producción en la planta artesanal de toallas sanitarias biodegradables propuesto se diseñó en base a un consumo promedio mensual de 25 toallas sanitarias por persona, para una comunidad de aproximadamente 125 mujeres. Esto con la finalidad de que el proceso diseñado fuera en su mayoría manual, para que mujeres en comunidades aledañas o dentro de las fincas bananeras pudieran manejar con facilidad todo lo que el proceso conlleva y lograr una fácil comprensión y manejo de todos los subprocesos.

Para elaborar la propuesta de dicho proceso se realizó una investigación sobre los trabajos realizados con la fibra de banano en la actualidad, además de establecer cuáles eran las toallas sanitarias ecológicas existentes para comparar las propiedades de las fibras utilizadas y determinar los métodos de extracción y tratamiento más adecuados para la fibra obtenida del tallo de la planta de banano. Para esto se realizó un análisis de la información obtenida en la literatura y se realizaron pruebas para obtener el proceso apropiado que pudiera ser elaborado por una comunidad de forma manual. Luego de obtener el proceso, se realizaron tres lotes de producción en planta artesanal para poder realizar una recolección de datos y lograr así escalar el proceso obtenido.

A partir de los datos experimentales recolectados en la producción los distintos lotes, se realizó un promedio para poder obtener los balances de masa de cada subproceso. Para la extracción se determinó que nueve tallos de banano eran suficientes para lograr la extracción

de 6.4200 kg de fibra. La extracción de la fibra se realizó manualmente con la ayuda de un molino de rodillos lisos, para eliminar la mayor cantidad de agua dentro de los trozos de fibra y poder desprender las capas que no eran de utilidad; y cuchillos para lograr obtener la fibra limpia. Dicho subproceso se delimitó solamente a quince operarios, ya que se observó que al ganar experiencia y comprensión del manejo de los trozos de tallo y la fibra, los operarios son capaces de mejorar los tiempos de extracción. Se decidió desechar completamente la primera capa del tronco o epidermis ya que la fibra obtenida se encontraba en mal estado y representaba una pérdida significativa de tiempo. Al finalizar un día de trabajo se obtienen 46.6800 kg de líquidos y 277.2600 kg de residuos sólidos. Todos los residuos obtenidos en este subproceso son orgánicos y por lo tanto son biodegradables, es por esto que no representan algún peligro o inconveniente al ser desechados ya que pueden ser degradados de manera natural o ser utilizados como abono. Se recomienda realizar estudios complementarios para los residuos líquidos obtenidos, para determinar si es necesario de algún tratamiento previo a su desecho.

Se determinó que no se podía obtener pulpa o pasta celulósica sin proporcionarle un tratamiento previo a la fibra. Esto se debe a que se deben romper las moléculas de lignina contenidas en la fibra, ya que la lignina ayuda a la formación de la pared celular y es la encargada de la rigidez y soporte del tronco. Por lo que el subproceso de suavización se considera fundamental para lograr obtener papel. Para este subproceso se utilizó una solución de óxido de calcio (cal viva) al 10% (p/p). Se usó óxido de calcio ya que era necesario de un medio alcalino que lograra desintegrar la lignina en un tiempo reducido y porque es un insumo accesible en la mayor parte del país. La operación se realizó a 50 – 60 °C ya que, al aumentar la temperatura del sistema, esta le proporciona la energía necesaria para romper el polímero mencionado; y se determinó que el tiempo óptimo de reacción era de 2.5 horas (dos horas y media). Para una futura optimización o mejora del proceso se recomienda determinar si la solución de óxido de calcio podría ser reutilizada en cada lote y el tiempo en el que esta comienza a perder sus propiedades óptimas. Esto con el objetivo de reducir la cantidad de agua residual obtenida al finalizar el proceso.

La obtención de la pulpa se logró utilizando una licuadora industrial ya que era capaz de romper o desintegrar la fibra. Se determinó que era necesario de una solución levemente ácida para reducir el pH de la fibra luego de la suavización, ya que una toalla sanitaria debe de tener un pH entre 5 y 7 para no causar ninguna irritación y no afectar el pH natural de la zona íntima. Se probó realizar lavados con agua, pero se determinó que tomaba mucho tiempo y cantidad de agua para alcanzar el pH deseado. También se intentó dejar en remojo la fibra por una noche, pero el pH obtenido se encontraba entre 7 y 8. Por último se realizó una prueba con zumo de limón ya que es un ácido natural y es accesible en el mercado; con lo que se logró alcanzar un pH de 6 de forma rápida y se encontró una relación de 2.2508 ml de zumo de limón

por 1 kg de agua. Por lo que se consideró que el zumo de limón era la opción más viable. Para fines de este proyecto, se utilizó zumo de limón criollo, sin embargo, se podría utilizar otro tipo de limón, teniendo en cuenta que la conversión obtenida podría variar. Para contener las soluciones en el subproceso de producción de pulpa, se propusieron cajas almacenadora o contenedores de polietileno, ya que, a comparación de las pilas trabajadas, es de menor costo, se pueden transportar con facilidad y cumplen con la misma función. La solución ácida preparada en los primeros contenedores se puede reutilizar en el mismo lote para producir la pulpa en la licuadora y obtener el papel en los segundos contenedores. Se recomienda realizar estudios complementarios para determinar cuántas veces más se podría reutilizar la solución ácida, ya que podría significar un ahorro de agua significativo. Además, para desechar la solución ácida, esta se debe de mezclar con la solución básica de óxido de calcio, utilizada en la suavización, para producir una neutralización y por cumplir con los estándares de aguas residuales.

Para la fabricación de los pliegos de papel, se empleó el método manual para la obtención de hojas de papel recicladas. Es por esto que se utilizaron marcos tamizadores, los cuales le dan forma y grosor a la pasta celulósica. Se debe procurar mantener el grosor propuesto, entre 0.10 y 0.19 mm para poder asegurar la resistencia y absorción deseada en la toalla sanitaria; además del tiempo de secado de cada bobina. Se utilizó otro molino de rodillos para terminar de suavizar el papel y volverlo uniforme. Los rodillos utilizados en este equipo se podrían modificar para obtener una textura en ciertas capas de la toalla sanitaria, pero se debe evaluar si esto favorece o no la absorción y dispersión de la sangre. Lo cual no se pudo realizar ya que solamente se contaba con rodillos lisos. Se estimó que el tiempo promedio de secado era de 2 horas y 45 minutos aproximadamente, con una temperatura ambiente promedio de 28°C y una humedad relativa promedio de 55%. En las corridas experimentales se utilizó una superficie negra de metal a 53°C para colocar las bobinas a la intemperie. En el proceso propuesto se seleccionaron bolsas negras, las cuales no podrían llegar a tal temperatura pero sí ayudan a acelerar el proceso, ya que el tiempo de secado no es imprescindible que sea exacto por ser un proceso en lotes; además las bolsas negras se pueden reutilizar en cada secado por lo que no representan un residuo. Con esto, se determinó que en un día se lograrán obtener 117 bobinas y que por los tiempos trabajados (jornadas de 8 horas) los mismos trabajadores que realizaron la pulpa pueden seguir con el proceso de producción del papel.

En una bobina de papel se pueden obtener aproximadamente 6 capas, un par de alitas y viruta para rellenar las toallas. Se determinó que es necesario de un relleno entre capas, por lo que se propuso utilizar la viruta (0.003 kg) restante del corte de las capas para aprovechar el papel restante; y así lograr una mejor absorción del flujo menstrual y su retención dentro de la toalla sanitaria. También se determinó que la mejor forma de unir las capas de papel era

utilizando hilo de algodón, ya que el papel se puede coser con facilidad, lo cual permite fijar las capas y direccionar el flujo, además de ser un material natural. La confección de las capas es uno de los subprocesos que toma mayor tiempo, junto con la extracción de la fibra. Es por esto que las personas que trabajen en dicho subproceso deben de estar capacitadas para manejar las máquinas de coser y lograr obtener la cantidad de toallas sanitarias deseadas en un día. Las puntadas realizadas en la primera capa ayudan a direccionar el flujo menstrual y que este se disperse en toda la toalla sanitaria ya que si se concentrara solamente en un punto, la toalla perdería resistencia y se tendría que desechar más rápido. Por otro lado, las puntadas realizadas en las capas 2 y 3 permiten el paso del flujo menstrual hacia el interior del relleno de la toalla sanitaria para asegurar su retención. Las capas 4 y 5 son lisas ya que aseguran que el flujo no traspase la toalla sanitaria. Se estimó obtener 121 toallas sanitarias biodegradables en un día, lo que equivale a 3,377 toallas sanitarias al mes y 135 mujeres si estas tienen un consumo promedio de 25 toallas sanitarias.

Se realizó una evaluación preliminar de los costos del proceso en planta artesanal y se obtuvo una comparativa entre la inversión inicial elaborada a partir de cotizaciones en comercios (Q 78,047.78) y el costo de la inversión inicial al cotizar algunos materiales disponibles en un mercado artesanal (Q 74,881.78). Se obtuvo una diferencia de Q3, 166.00, lo que representa el 4.05% de la inversión. La diferencia obtenida no es significativa ya que el mayor costo de la inversión es reflejado en los equipos necesarios para cada proceso, como los molinos de rodillos, que representan el 57.91%, y la licuadora industrial, que representa el 15.38%, de la inversión inicial. También se determinaron los costos mensuales y anuales de los insumos para el proceso. Se obtuvo un costo mensual de Q 834.54 y un costo anual de Q 10,014.46, de los cuales la compra del óxido de calcio representa un 58.41% del costo total de los insumos. A partir de esto se obtuvo un costo unitario para la toalla sanitaria biodegradable de Q0.25. Para poder analizar la rentabilidad del proceso es necesario realizar estudios financieros complementarios ya que se debe tomar en cuenta el costo de la mano de obra, un factor clave en el desarrollo del proceso, el modelo económico a utilizar en la microempresa y el tiempo de retorno de la inversión, para poder determinar así si el proyecto es viable económicamente; y para poder comparar costos con las toallas sanitarias comerciales actuales.

Se realizó una propuesta para escalar el proceso para la fabricación de la toalla biodegradable industrialmente. Para esto se seleccionaron los equipos necesarios para cada etapa del proceso y se dimensionaron de acuerdo a las conversiones encontradas de forma experimental en la producción de los lotes en planta artesanal. Para la extracción de la fibra se seleccionó un desfibrador especializado en la extracción de fibra de banano. Se utilizaron datos de la literatura los cuales indican que la corteza bruta de un tallo de la planta de banano posee 31.40% de fibra, ya que el desfibrador es capaz de obtener una cantidad de fibra

considerablemente mayor a la conseguida manualmente. Con esto, se estimó que se logrará la extracción de 5.02 t de fibra al día, lo que equivale a 584 tallos de banano diarios. Luego la fibra se reduce de tamaño para propiciar la formación de pasta celulósica. Esto mediante un triturador de discos dentados o cuchillas. Se propuso este tipo de trituración debido al material a triturar, ya que este no es de gran tamaño y tampoco posee una resistencia considerable, por lo que el equipo brinda una trituración media y el tamaño deseado de la fibra para su posterior tratamiento. La cantidad de residuos sólidos y líquidos obtenidos de la extracción es considerable, por lo que para su desecho es necesario de un tratamiento adecuado.

Para realizar la suavización de la fibra, se planteó utilizar un tanque agitado de acero inoxidable ya que es necesario que la solución de óxido de calcio esté en constante movimiento debido a que es de baja solubilidad, además se propuso utilizar acero inoxidable debido a que es una solución básica a 50 – 60°C, lo cual podría oxidar el acero al carbón. Se sugiere utilizar una turbina de palas rectas para la agitación ya que logra formar un flujo radial y tangencial que favorece la mezcla; además utilizar deflectores en el tanque para prevenir la formación de vórtices y aumentar el flujo vertical para producir una mezcla más rápida del líquido. El tanque se diseñó de acuerdo a las proporciones “estándar” de turbinas propuestas por McCabe, las cuales sirven como un punto de partida para el diseño de agitadores. Se determinó que esta etapa del proceso requiere como mínimo 75.36 t de agua y 7.54 t de óxido de calcio al día.

Luego se propuso un despulpador para obtener la pasta celulósica, el cual posee un rotor en espiral que promueve la circulación, rompimiento y fricción entre las fibras hasta alcanzar la consistencia deseada de la pulpa (10%). Mediante la conversión experimental, se determinó que era necesario de 113.08 litros de zumo de limón y 50.24 t de agua para alcanzar el pH deseado (pH=6). Debido a la cantidad de limón necesaria en esta etapa del proceso, se podría utilizar una solución de ácido cítrico en lugar de limón, sin embargo, es necesario de un análisis adicional para determinar cómo afectaría esta solución a la composición de la toalla final. También se utilizaron las conversiones experimentales para determinar la cantidad de papel producida, para lo que se propuso una máquina de papel de mesa plana para su fabricación, ya que esta trabaja de manera continua desde el ingreso de la pulpa en la cabeza y caja de entrada, pasando por una sección de prensas y secadores, hasta enrollar el papel en bobinas. Con esto se estima una producción de 0.82 t de papel al día (8 horas). Cabe mencionar que es necesario determinar la eficiencia de cada etapa o sección de la máquina plana en un estudio posterior, ya que podría ser diferente la conversión que se obtuvo experimentalmente a la real del equipo, por lo que la cantidad de papel estimada es el mínimo que se podría obtener. Por otro lado, para la obtención de las capas 1, 2 y 3 que poseen un patrón específico de agujeros, se propusieron dos prensas de cilindros, una con el patrón de la primera capa y otra con el patrón de las capas 2 y 3. Luego de obtener las texturas y patrones deseados, las bobinas

pasan por una máquina troqueladora hidráulica de carro móvil. En este equipo se realiza el corte de las capas mediante un troquel plano que posee un movimiento perpendicular a la plancha. Se propuso una troqueladora de troquel plano en lugar de cilíndrico ya que posee una mayor precisión, y esta debe de ser lo más exacta posible ya que las bobinas entran con los patrones establecidos en las prensas de cilindros. Con esto se estimó que se lograrán obtener 472,256 capas al día, sin embargo es necesario evaluar la velocidad del equipo en función según los moldes y largo de las bobinas de papel para determinar si es necesario solamente una troqueladora o se necesitan varias. El sobrante del papel obtenido en esta etapa pasará por un triturador de discos dentados, igual al utilizado para triturar la fibra, ya que logra la reducción del tamaño de papel para la obtención de la viruta y se pueden ajustar los discos para determinar el tamaño de la misma; lo cual permitirá obtener 0.32 t de viruta en un día.

Por último, las toallas sanitarias serán confeccionadas en una máquina de coser automática de cabezas múltiples. Se propuso dicho equipo ya que es capaz de confeccionar varias toallas sanitarias a la vez y los moldes se pueden realizar a la medida según sea la necesidad. El equipo se puede configurar para realizar las puntadas del centro de la capa y las puntadas para la confección final de la toalla sanitaria. El relleno de la toalla se realizará manual ya que puede agregarse al mismo tiempo que se ajustan los moldes. En esta etapa se recomienda realizar un estudio financiero para determinar si es rentable la inversión en este equipo o en mano de obra para confeccionar las toallas sanitarias de forma manual. Para la producción de las toallas sanitarias será necesario de 0.28 t de viruta para el relleno y 361,530.86 yardas de hilo de algodón; y se obtendrán un mínimo de 644,633 toallas sanitarias biodegradables en un mes, lo que equivale a 105,785 mujeres si estas tienen un consumo promedio de 25 toallas sanitarias, esto corresponde a 1.40% de las mujeres en Guatemala y 6.40% de las mujeres en la Ciudad de Guatemala.

Como posibles fuentes de error se puede mencionar la desviación obtenida en los datos promedios para realizar los balances de masa en el proceso en planta artesanal, siendo el error más grande la diferencia de masas entre los troncos trabajados. Además se puede mencionar la incertidumbre de los instrumentos trabajados que pudieran afectar las mediciones y los balances obtenidos en las propuestas de los procesos en planta artesanal e industrial. También las conversiones utilizadas para dimensionar el equipo en la propuesta industrial, ya que no podrían variar con las conversiones reales de los equipos.

## X. Conclusiones

- Los pseudotallos de banano provenientes de la finca “Primavera” en Escuintla, Guatemala, presentaron características físicas de largo [ $167.00$  a  $180.00 \pm 0.05$  cm], peso [ $44.03 \pm 0.02$  kg], grosores inferiores [ $79.25 \pm 0.20$  cm] y superiores [ $64.34 \pm 0.20$  cm] y un porcentaje de agua [ $94.46 \pm 0.05$  %] dentro del rango que presentan las herbáceas pertenecientes a la familia “Musa”
- Los pseudotallos presentaron una humedad promedio de  $94.46 \pm 0.05$  %, por lo que aproximadamente un 6% es materia seca incluyendo fibra y pulpa deshidratada.
- Los parámetros de pH, contenido de ceniza, degradabilidad, porcentaje alto de celulosa y porcentaje bajo de lignina de la fibra recién extraída sin tratar fueron adecuados para ser empleados en la elaboración de un pliego de papel para ser utilizado en la fabricación de una toalla sanitaria biodegradable.
- La cantidad excesiva de unidades formadoras de colonias de microorganismos formados que presentó la fibra recién extraída sin tratar resultaron inadecuados para ser empleada directamente en la elaboración de una toalla sanitaria.
- La toalla sanitaria fabricada a base de fibra de banano presentó una elasticidad baja, traduciéndose en poca comodidad para el usuario.
- Los pseudotallos almacenados en bodega sin exposición directa de la luz solar presentaron características de degradación más fuertes de olores, formación de hongos y deformación que los pseudotallos almacenados en la intemperie. Ambas situaciones de almacenaje presentaron degradación a las dos semanas de haber sido cortados.
- El manejo adecuado del pseudotallo de banano para reducir su degradación es determinar su estado inicial en el ingreso, para ser procesado, desechado o almacenado en la intemperie con una temperatura promedio de  $60$  °C y una humedad relativa de 100 % sin exceder las dos semanas de almacenaje.
- El pinzote de banano para las fincas bananeras es un residuo que se desecha cada cosecha por lo que este estudio se basa en utilizar este residuo obtenido en las fincas bananeras. En todas las variedades de banano es posible la extracción de fibra del pinzote y la mayor cantidad de fibra se encuentra en el cortex.
- Se utilizó la fibra del cortex de pinzote de banano para obtener celulosa y realizar pliegos de bobina a base de pasta celulosa para su posterior diseño en una toalla sanitaria.

- El porcentaje de fibra contenido en el cortex del pinzote de banano es de 3.13%, 2.82% y 3.6% de cada pinzote en lote 1,2 y 3 respectivamente.
- En el tratamiento mecánico no se obtuvo una pasta celulósica, las fuerzas de corte no rompieron la pared celular.
- En el pre-tratamiento térmico y mecánico no se obtuvo una pasta celulósica. En el post-tratamiento térmico y mecánico no se obtuvo una pasta celulósica. Por lo que el calor no ayuda a suavizar los tejidos de la fibra para facilitar la ruptura de la pared celular por medio de fuerzas de corte.
- El proceso Kraft y mecánico con impregnación de la solución de hidróxido de sodio al 15% (p/p) por 4 horas si se obtuvo una pasta celulósica. El proceso separó la lignina de la celulosa y hemicelulosa y facilitó la ruptura de la pared celular por medio de fuerzas de corte.
- El proceso de soda modificado con impregnación de solución de óxido de calcio al 30% (p/p) por 4 horas si se obtuvo una pasta celulósica. El proceso separó la lignina de la celulosa y hemicelulosa y facilitó la ruptura de la pared celular por medio de fuerzas de corte.
- La propuesta de una planta artesanal hace énfasis en que es una producción realizada por las mujeres de la finca con equipos no sofisticados y procesos elementales, libres de altas toxicidades y de fácil compresión y manejo, por lo que el tratamiento químico de menor toxicidad es el de proceso de soda modificado.
- Los costos con base en materia prima fueron del tratamiento Kraft fue de Q18.41 y del tratamiento por el método proceso soda modificado de Q4.33. El costo de energía eléctrica del tratamiento Kraft y del tratamiento por el método de soda modificado fue de Q10.18. Se requiere el mismo equipo para los dos métodos.
- El mejor tratamiento evaluando los aspectos de costo de materia prima, equipo y electricidad y comparando el grado de dificultad y seguridad del operario es el tratamiento de soda modificado y mecánico.
- La disminución de cantidad de reactivo y tiempo de reacción para crear pasta celulósica al menor costo por el método de soda modificado y mecánico fue de 10% (p/p) de óxido de calcio, temperatura de 50-60°C y 2.5 horas de tiempo de reacción, con un costo de Q7.7.
- La pasta celulósica va a tomar la forma del marco que se utilice, en este caso fue de 19X14 in ya que es un tamaño adecuado para su maniobra y permite obtener pliegos de bobina de buen tamaño.
- Los pliegos creados en los tres lotes se secaron bajo el sol en un promedio de 1-2 horas, con una humedad relativa entre 53-58% y una temperatura superficial en el nylon de alrededor 47-60°C.

- Para la instalación de la planta artesanal en la Finca Primavera se realizaron cálculos del equipo y materiales necesarios para realizar el procedimiento. Como inversión inicial de materiales se tiene un costo de Q6,118.00, la inversión inicial del equipo es de Q30,734.99 y la instalación de la planta es de Q91,590.27.
- El costo del pliego de bobina de 19X14 in fue para lote 1,2 y 3 de Q0.80, Q0.92 y Q0.64 de cada pliego respectivamente.
- Las toallas sanitarias tienen una dimensión de 6.5 cm de ancho y 21.2 cm de largo.
- Las toallas sanitarias de los tres lotes evaluados, cumplen con los estándares existentes de capacidad (12.20 a 12.30 mL) y velocidad de absorción (41.20 a 52.20 segundos).
- Las toallas sanitarias evaluadas del primer y segundo lote no cumplen con los parámetros de pH. Las producidas en el tercer lote se encuentran dentro del rango establecido por los estándares existentes, se obtuvo un valor promedio de  $6.87 \pm 0.01$ .
- Los valores obtenidos de las pruebas microbiológicas realizadas a las toallas sanitarias encuentran en un rango de 2900 a 5300 UFC/ g de muestra
- Las toallas sanitarias producidas a partir de los pliegos de fibra de pinzote de banano son biodegradables, con base en los resultados obtenido de las pruebas de enterramiento realizadas el porcentaje de pérdida de peso fue de 78.22 a 93.28 al finalizar los 80 días de enterramiento.
- Con base en el promedio de flujo menstrual, se determinó que son necesarias tres toallas sanitarias por día para cubrir las necesidades básicas de una mujer.
- La metodología de elaboración es simple, para poder proporcionar a niñas y mujeres la capacidad de gestionar sus propios productos sanitarios, mejorando así su calidad de vida y su salud.
- El costo de producción de una toalla sanitaria es de Q 0.81, por lo tanto, el producto es barato y accesible para mujeres de escasos recursos.
- La toalla sanitaria propuesta puede ser una solución para la falta de productos higiénicos sanitarios en áreas rurales de Guatemala.
- Al realizar los balances de masa y energía para el proceso de producción en la planta artesanal de toallas sanitarias biodegradables se determinó que se necesitan de 9 tallos para la extracción de 6.4200 kg de fibra y la producción de 121 toallas sanitarias al día.
- Es necesario suavizar la fibra para lograr la producción de la pulpa celulósica, por lo que en el proceso de planta artesanal se determinó que se necesitan 96.30 kg de agua y 9.63 kg de óxido de calcio al día.
- Se logró la reducción del pH de la toalla sanitaria utilizando una solución de zumo de limón, con una conversión de 2.2508 ml de zumo de limón por 1 kg de agua.

- Se determinó el costo de fabricación en planta artesanal a partir de cotizaciones en comercios (Q 78,047.78) y en mercados artesanales (Q 74,881.78), obteniendo una diferencia del 4.05%.
- El mayor costo de inversión se vio reflejado en los equipos necesarios para cada subproceso, ya que los molinos de rodillos representan el 57.91% y la licuadora industrial el 15.38% de la inversión inicial. También se obtuvo un costo mensual de Q 834.54 y un costo anual de Q 10,014.46 por insumos.
- Se realizó una propuesta para escalar el proceso para la fabricación de la toalla biodegradable industrialmente en donde se estimó producir 644,633 toallas sanitarias en un mes.
- El equipo seleccionado en la propuesta de producción industrial de toallas sanitarias es el siguiente: desfibrador, trituradores de discos dentados, tanque agitado, despulpador, máquina de papel plana, prensa de cilindros, troqueladora hidráulica de troquel plano y máquina de coser automática de cabezas múltiples.
- Se determinó que la principal fuente de error fue la desviación obtenida en los datos promedios al realizar los balances de masa en el proceso en planta artesanal.

## XI. Recomendaciones

- Realizar la determinación de densidad por medio de picnometría de helio para obtener resultados de mejor calidad y mayor repetitividad.
- Procesar los pseudotallos antes de cumplir las dos semanas de almacenamiento luego de haber sido cortados para evitar pérdidas de materia prima, enfermedades y un ambiente desagradable para las personas.
- Extraer la fibra antes de transcurrir las dos semanas de haber sido cortado el pseudotallo, secarla hasta alcanzar un porcentaje de humedad menor o igual al 15% y almacenarla en un ambiente fresco libre de humedad.
- Caracterizar el centro de los pseudotallos para determinar usos alternos del mismo y evitar ser desechado: obtención de una pulpa absorbente o bien para la síntesis de un biopolímero.
- Investigar sobre máquinas que extraigan fibra del pinzote de banano para poder incluir en el proceso y así obtener mayor rendimiento en la extracción y en menor tiempo.
- Se puede encontrar más usos a la fibra recién extraída para lograr otros productos.
- Investigar sobre más métodos para la obtención de pasta celulósica y evaluar su costo para determinar si se obtiene a un menor costo.
- Al momento de instalar la planta artesanal se debe de capacitar a los trabajadores sobre todo del procedimiento para que se encuentran familiarizados con lo que van a ejecutar.
- Se puede evaluar otras aplicaciones a los pliegos de bobinas de pasta celulósica obtenida en este trabajo para obtener otra variedad de productos.
- Con base en los resultados obtenidos de las pruebas microbiológicas se puede considerar la esterilización del producto después de su elaboración.
- En cualquier prueba para un producto que será utilizado por la personas, se necesita retroalimentación de los usuarios. Sin embargo, estos resultados cuantitativos muy bien se pueden combinar con comentarios de los usuarios para proporcionar mayor información de las propiedades del producto final y mejorar el mismo.
- Utilizar programas de simulación para determinar el ajuste del prototipo de toalla sanitaria propuesto en el cuerpo.
- Se podría realizar análisis de la producción de CO<sub>2</sub>, así como la desaparición de un constituyente específico (celulosa) para complementar los valores obtenidos con la disminución de la materia orgánica obtenidos por la pérdida de peso.
- Realizar un estudio complementario para evaluar la degradabilidad del hilo de algodón y el hilo de la fibra del pinzote de banano.

- Se recomienda determinar si la solución de óxido de calcio podría ser reutilizada en cada lote y el tiempo en el que esta comienza a perder sus propiedades óptimas. Esto con el objetivo de reducir la cantidad de agua residual obtenida al finalizar el proceso.
- Se recomienda realizar estudios complementarios para determinar cuántas veces más se podría reutilizar la solución ácida, ya que podría significar un ahorro de agua significativo.
- Para poder analizar la rentabilidad del proceso en planta artesanal es necesario realizar estudios financieros complementarios ya que se debe tomar en cuenta el costo de la mano de obra, el modelo económico a utilizar en la microempresa y el tiempo de retorno de la inversión, para poder determinar así si el proyecto es viable.
- Es necesario determinar la eficiencia de cada etapa o sección de la máquina de papel de mesa plana en un estudio posterior, ya que podrían haber variaciones entre la conversión que se obtuvo experimentalmente a la real del equipo.
- Se recomienda realizar un estudio financiero para determinar si es rentable la inversión de la máquina de coser automática o es preferible invertir en mano de obra para confeccionar las toallas sanitarias de forma manual.
- Realizar un estudio del proceso industrial más extenso, que incluya un análisis del mercado y la competencia, los costos y utilidades potenciales, además de los componentes auxiliares del proceso para obtener un diseño detallado del mismo y poder evaluar su rentabilidad.

## XII. Bibliografía

- Akubueze, E., Ezeanyanaso, C., Orekoya, E., Akinboade, D., Oni, G., Muniru, S., & Igwe, C. (2015). Extraction & Production of Agro- Sack from Banana (*Musa Sapientum*) & Plantain (*Musa Paradisiaca* L) Fibres for Packing Agricultural Produce. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 9(1), 9-14.
- Anzueto, R. (2012). *Modelos Matemáticos para Estimación de Vida Útil de Alimentos*. Recuperado el octubre de 2016, de <http://www.innovacion.gob.sv/inventa/attachments/article/2458/VIDA%20ANAQUEL%20CndsSalvador.pdf>
- APIB. (2012). *Asociación de Productores Independientes de Banano*. Recuperado el septiembre de 2015, de <http://apib.com.gt/el-banano-en-guatemala/>
- APIB, .. (Junio de 2016). Plantación de Banano. (M. J. Ramos, Entrevistador)
- Apropiedad. (2011). *Banana Tree Fiber female hygienic pads*. Recuperado el febrero de 2016, de [http://www.appropedia.org/Banana\\_Tree\\_Fibre\\_Female\\_Hygienic\\_Pads](http://www.appropedia.org/Banana_Tree_Fibre_Female_Hygienic_Pads)
- Arshad, K., & Muhammad, M. (08 de mayo de 2011). *Biodegradation of Textile Materials*. Recuperado el 01 de Octubre de 2016, de <http://bada.hb.se/bitstream/2320/9255/1/2011.7.8.pdf>
- ASTM. (2007). *Química, un Proyecto de la ACS*. Barcelona, España: Reverté S.A.
- ASTM, .. (2001). Standard Test Method for Water Retention of Textile Fibers (Centrifuge Procedure) ASATM, D2402-01. En ASTM, *Fiber Test Methods*.
- ASTM. (1982). *Paper and Paperboard Characteristics, Nomenclature and Significance of Tests* (3a ed.). Philadelphia.
- Badgujar, C., Dusane, S., & Deshmukh, S. (diciembre de 2003). Eficiencia Comparativa de los Métodos de Control de las Malezas en el Banano "Basrai". *INFOMUSA*, 12(2), 13-14.
- Barroso, M. (2013). *Physical and Chemical Properties of Banana Fibre*. Recuperado el 18 de septiembre de 2015, de [biorefineria.http://oa.upm.es/10559/1/MIGUEL\\_BARROSO\\_CASILLAS.pdf](http://oa.upm.es/10559/1/MIGUEL_BARROSO_CASILLAS.pdf)

- Betancourt, S., Gañán, P., Jiménez, L., & Cruz, J. (2009). Degradación Térmica de Fibras Naturales Procedentes de la Cleteta de Plátano (Estudio Cinético). *Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales*(1), 215-219.
- Beyer, H., & Walter, W. (1987). *Manual de Química Orgánica* (19a ed.). España: Reverté S.A.
- Biermann, C. (1996). *Handbook of pulping and papermaking* (Segunda ed.). Londres: Academic Press.
- Bonilla, E., Prieto, J., & Jaramillo, H. (2009). *La Investigación, Aproximaciones a la Construcción del Conocimiento Científico*. Colombia: AlfaOmega.
- Bravo, M. (2004). *El Manejo Higiénico de los Alimentos, Guía para la Obtención del Distintivo H. .* México: Limusa.
- CACIF. (2011). Recuperado el septiembre de 2015, de ISDE Banano: Análisis Sectorial: file:///C:/Users/chepa/OneDrive/Documents/UVG/megaproyecto/05.ISDE\_Banano.pdf
- Canto, B., & Castillo, G. (Enero de 2011). Un mil Usos: Plátano. *Divulgación científica y tecnológica de la Universidad Veracruzana, XXIV*(1).
- Caravaca, R. (2005). *Bases de la Producción Animal*. Sevilla, España: SCA.
- Castells, X. (2012). *Reciclaje de Residuos Industriales, Residuos Sólidos Urbanos y Fangos de Depuradora* (2a ed.). Madrid, España: Días de Santos S.A.
- Castillo, F., Roldán, M., Blasco, R., Huertas, M., Caballero, F., Moreno, C., & Martínez, M. (2005). *Biotecnología Ambiental*. Madrid, España: Tébar.
- Céspedes, J. (2006). *Creación de un doe para el proceso de formación de pulpa en la línea de producción de toallas femeninas CAF-04*. San José, Costa Rica: Universidad Latinoamericana de Ciencias y Tecnología.
- Champion, J. (1978). *El Plátano, Técnicas Agrícolas y Producciones Tropicales*. Barcelona, España: BLUME.
- Chávez-Sifontez, M. (2013). *Lignina, Estructura y Aplicación*. Recuperado el 9 de noviembre de 2015, de [http://www.exeedu.com/publishing.cl/av\\_cienc\\_ing/2013/Vol4/Nro4/3-ACI1184-13-full.pdf](http://www.exeedu.com/publishing.cl/av_cienc_ing/2013/Vol4/Nro4/3-ACI1184-13-full.pdf)
- Clavijo, A. (2002). *Fundamentos de Química Analítica, Equilibrio Iónico y Análisis Químico*. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Cortéz, G. (1994). *Atlas Agropecuario de Costa Rica*. San José, Costa Rica: EUNED.
- Cuadrado, L. (2004). *Estudio Bromatológico y fitoquímico de la Jícama para Determinar el Tiempo óptimo de cosecha*. Ecuador.

- Dávila, M. (1983). *El Plátano*. Managua, Nicaragua: MIDINRA.
- Ek, M., Goran, G., & Gunnar, H. (2009). *Pulping Chemistry and Technology*. Bremen, Alemania: Gruyter.
- Faser, I., & Warner, P. (2011). *Estimating Menstrual Blood Lost in Women with a normal and Excessive Menstrual Fluid Volume*. Australia: Abstetrics and Gynecology.
- Garmendia, A. (2012). *Perfil Ambiental de Productos Higiénicos Desechables: Pañales y Toallas Sanitarias*. México: P&G.
- Gil, A. (2010). *Tratado de Nutrición, Composición y Calidad Nutritiva de los Alimentos* (Vol. 2). Madrid, España: Editorial Médica Panamericana.
- Glab, K. (20 de septiembre de 2016). *Google Images*. Recuperado el septiembre de 2016, de [https://es.wikipedia.org/wiki/Lignina#/media/File:Lignin\\_structure.svg](https://es.wikipedia.org/wiki/Lignina#/media/File:Lignin_structure.svg)
- Gómez. (2013). *Introducción a los Procesos Químicos*. Recuperado el 29 de Junio de 2016, de <http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/clauidiag/lproquim.htm>
- Gómez, D. (2016). *Nanocelulosa, aplicación en la Industria de Alimentos*. Universidad Pontificia Bolivariana de Colombia, Colombia.
- Grajales, O. (2005). *Apunte de Bioquímica Elemental, Bases para su Aplicación Fisiológica*. México: Universidad Autónoma de México.
- Gupta, A. (2014). *Design of an absorbent and Comfortable Sanitary Napkin for Applications in developing Countries*. Recuperado el junio de 2016, de <https://dspace.mit.edu/bitstream/handle/1721.1/89967/890129414-MIT.pdf?sequence=2>
- H. T., & C. S. (2005). *Métodos y algoritmos de diseño en ingeniería química*. Medellín, Colombia: Universidad de Antioquia.
- Herrera, C., Bolaños, N., & Lutz, G. (2003). *Química de alimentos Manual de Laboratorio*. Costa Rica: La Universidad de Costa Rica.
- Himmelblau, D. (2002). *Principios básicos y cálculos en ingeniería química* (Sexta ed.). México: Pearson Educación.
- INFOMUSA. (1995). Producción Industrial de Papel en Base a Fibra del Banano. *Earth Newsletter*, 5(4), 1-22.
- INIBAP. (1996). *Fibra de Banano*. International Network for the Improvement of Banana and Plantain.
- INSIVUMEH. (Octubre de 2016). Datos de red Automática. Guatemala, Guatemala.
- Jani. (2016). *Jani Pads, Nuestra Historia*. Recuperado el junio de 2016, de <http://www.janipad.com/about/>

- Karampinis, E., & Grammelis, P. (2012). *Herbaceous Biomass-Supply Chains for Bioenergy and Biorefining*. (Vol. XX). BISIPLAN.
- Krishi-Foundation. (s.f.). *Usefulness of Banana*. Recuperado el 19 de julio de 2015, de <http://banglajol.info/index.php/AGRIC/article/viewFile/19870/13734>
- Lapierre, K. (2009). *Managing Waste and Recycling*. Nueva York, Estados Unidos: On the Mark Press.
- Li, K., Fu, S., Zhan, H., & Lucian, L. (2010). Analisis of the Chemical Composition and Morphological Structure of Banana Pseudo-Stem. China.
- Madrigal, K. (2008). *Estudio de la Adquisición de Fluidos en Toallas Sanitarias con Loción a Base Petrolato*. Colombia: Universidad Simón Bolívar.
- MakaPads. (2016). *Technology of Tomorrow*. Recuperado el mayo de 2016, de <http://www.t4tafrica.co/makapads>
- Martinez, G. (1999). *SIAN*. Recuperado el febrero de 2016, de Los Mil y Un Usos de las Musáceas y Plantas Afines: [http://sian.inia.gob.ve/repositorio/revistas\\_tec/Fonaiap/Divulga/fd62/musa.html](http://sian.inia.gob.ve/repositorio/revistas_tec/Fonaiap/Divulga/fd62/musa.html)
- Melo, V., & Cumatzi, O. (2007). *Bioquímica de los Procesos Metabólicos* (2a ed.). Barcelona, España: Reverté S.A.
- Mikell, P. (1997). *Fundamento de Manufactura Moderna, Materiales, Procesos y Sistemas*. México: Pearson Educación.
- Mohapatra, D. (2010). Banana and its Utilization : An Overview. *Journal os Scientific & Industrial Research*, 69, 323-329.
- Moubasher, M., & Colaboradores, .. (1982). *Direct Estimation of Celullose, Hemicelulose and Lignin*. J.Agric.
- Normas, C. G. (Junio de 1986). *Toallas Sanitarias, Especificaciones*. Recuperado el Febrero de 2016, de Coguanor NGO 46 032 h2: [http://cretec.org.gt/wp-content/files\\_mf/coguanorngo\\_46\\_031.pdf](http://cretec.org.gt/wp-content/files_mf/coguanorngo_46_031.pdf)
- Ohaus. (2011). *Manual de Instrucciones, Analizados de Huedad MB45*. Suiza.
- Olivas, E. (2004). *Manual de Prácticas Microbiología I y II y de Parasitología*. México: Universidad Autónoma de la ciudad de Juarez.
- Orrego, C. (2003). *Procesamiento de Alimentos*. Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Pabón, M. (2004). *Notas de Clase Bioquímica Ruminant*. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Palmer, C. (2003). *Matemáticas Prácticas* (2a ed.). España: Reverté S.A.

- Peter, H. (1992). *Biología de las Plantas* (Vol. 2). Barcelona, España: Reverté S.A. .
- Primo, E. (2007). *Química Orgánica Básica y Aplicada: de la Molécula a la Industria* (Vol. 2). España: Reverté S.A.
- PROFECO. (2006). *Toallas Sanitarias*. México: Laboratorio Nacional de Protección al Consumidor.
- Reddy, J. (2014). *Production of Pilp From Banana Pseudo Stem*. Recuperado el 22 de enero de 2016, de file:///C:/Users/chepa/Downloads/Production-of-Pulp-6%20(1).pdf
- Reynolds, P. (1972). *The Banana, it's History Cultivation and Place Among Staple Foods*. Boston, Nueva York: Houghton Miffling Company.
- Roseboom, P., Oñoro, M., & Waai, H. (1990). *El Cultivo del Plátano en el Valle de Sixaola*. Turrialba, Costa Rica.
- Rubera, G. (2010). *Evaluación de una Herramienta de Simulación para su Uso en el Entendimeinto de Toallas Sanitarias Tipo Ultra*. Colombia: Universidad Simón Bolívar.
- Saathi. (2016). *SaathiPads*. Recuperado el septiembre de 2016, de <http://www.saathipads.com/#!/about-us/c6v5>
- Sanchez, U. (2010). *Introducción: ¿Qué es Caracterizar?* Medellín, Colombia: Universidad católica del Norte.
- Shebani, A. (2008). *ThermoChim. Acta*, 43-50.
- Sheldon, H. (1999). *Mujer el Cuidado de la Salud Femenina*. México : PAX.
- Singh, S. (2016). *Works that Work*. Recuperado el Mayo de 2016, de Higiene Femenina, Digna y Asequible: <https://worksthatwork.com/es/3/higiene-femenina-digna-y-asequible>
- Smith, A. (1994). *Degradation of Sanitary Protection Products in an Anaerobic Sewage Sludge Digester*. . Reino Unido: Life Sciences Department, The Nottingham Trent University.
- Taiz, L., & Zeiger, E. (2006). *Fisiología Vegetal*. España: Universidad Jaume.
- Technology of Tomorrow*. (2016). Obtenido de Toallas sanitarias Makapads: <http://t4tafrica.co/makapads>
- Tescheke, K. (2009). *Industria del Papel y de la Pasta del Papel*. Recuperado el 22 de septiembre de 2015, de file:///C:/Users/chepa/Downloads/Industrialdelpapel.pdf
- Torres, M. (2016). *Vida Útil en Anaquel Apoyando al Etiquetado de Alimentos*. Recuperado el Octubre de 2016, de [http://www.inofood.cl/neo\\_2011/pdf/PRE\\_PDF/MARTES\\_TARDE\\_2/Microsoft%20PowerPoint%20%203%20MARCELA%20TORRES%20-%20GCL%20%5BModo%20de%20compatibilidad%5D.pdf](http://www.inofood.cl/neo_2011/pdf/PRE_PDF/MARTES_TARDE_2/Microsoft%20PowerPoint%20%203%20MARCELA%20TORRES%20-%20GCL%20%5BModo%20de%20compatibilidad%5D.pdf)

- Truong, M., & Colaboradores. (2009). A comparative Study on Natural Fibre Density Measurement . *The Journal of the Textile Institute*, 100(6), 525-529.
- UNICEF. (2011). *Aguas, Saneamiento e Higiene en la Escuela*. Bolivia: Emory Univerity.
- V. H. (1994). *Fundamentos de tecnología química*. Barcelona, España: Reverté S.A.
- Vásquez, E. (2003). *Hidrólisis d elos polisacáridos*. México: UNAM.
- Véniza, A., & Baena, M. (22 de julio de 2016). *ProMusa*. Recuperado el 5 de Agosto de 2016, de Mobilizing banana science for sustainable livelihoods: [http://www.promusa.org/tiki-read\\_article.php?articleId=6](http://www.promusa.org/tiki-read_article.php?articleId=6)
- Vian, A. (2006). *Introducción a la Química Industrial*. España: Reverté S.A. .
- Villaseñor, J. (1998). *Tesis Doctoral: Eliminación Biologica de Fósforo en Aguas Residuales Urbanas*. La Ancha. , España: Universidad Castilla.
- W. M., J. S., & P. H. (2007). *Operaciones unitarias en ingeniería química* (Séptima ed.). México: McGraw-Hill Interamericana.
- Wilson, J., & Buffa, A. (2003). *Fñísica* (5a ed.). México: Pearson Educación.
- (Céspedes, 2006) (Himmelblau, 2002) (V., 1994) (W., J., & P. , 2007) (H. & C., 2005) (Technology of Tomorrow, 2016)

### XIII. Apéndice

#### A. Procedimiento de extracción de fibra de banano y formación de pliegos de bobina

1. Extracción de fibra de pinzote de banano: Para poder extraer la fibra de banano se necesita del siguiente equipo para cada persona.

Cuadro 73. Equipo para la extracción de fibra de banano

Equipo	Cantidad
Cuchillo de acero inoxidable	1
Tabla de madera de 12X16 in	1
Guantes de latex	1
Molino de rodillos*	1
Mesa de trabajo	1

\*Las especificaciones del equipo se encuentra en la sección de apéndice, datos de placa.

Los pasos a seguir son detallados y presenta fotografías para su mayor comprensión.

- a. Recepción del pinzote y limpieza superficial para quitar lodos externos de la epidermis.

Ilustración 19. Pinzote de banano



b. Se debe de cortar la epidermis del pinzote. Usualmente debido al manejo está dañada

Ilustración 20. Epidermis del pinzote de banano



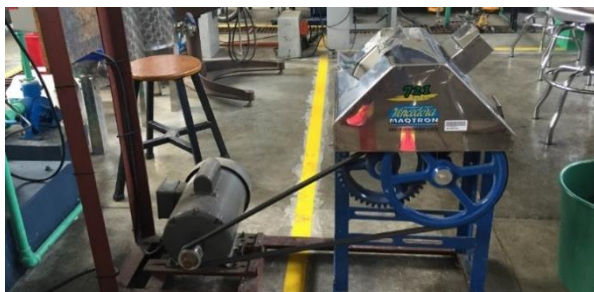
c. En este proceso el cortex se corta en piezas manejables aproximadamente de 60 cm de longitud y 10 cm de ancho.

Ilustración 21. Cortex del pinzote de banano



d. Los pedazos se pasan por el molino de rodillos donde se les extrae el agua.

Ilustración 22. Molino de rodillos (trapiche) del Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala



\*Las especificaciones del equipo se encuentra en la sección de datos de placa

Ilustración 23. Cortex del pinzote de banano después de pasar por el molino de rodillos



e. Se quita la capa inferior del pedazo cortex removiendo los alveolos (esta se desprende fácilmente ya que por la extracción del agua queda floja y débil).

Ilustración No. 24. Remoción de capa inferior del cortex.



f. Después el operador se debe colocar los guantes y raspar con la ayuda de cuchillos para separar la fibra. Se puede partir en pedazos de 5 cm de ancho para su fácil manejo.

Ilustración 25. Limpieza de la fibra de pinzote de banano.



g. La fibra extraída se debe limpiar bien hasta obtener una fibra blanca.

Ilustración 26. Fibra de pinzote de banano.



h. De esta manera se debe seguir con el procedimiento hasta completar toda la capaz del pinzote y llegar hasta el centro.

Ilustración 27. Fibra de pinzote de banano.



2. **Tratamientos:** Para poder realizar los diferentes tipos de tratamiento a la fibra de banano se necesita del siguiente equipo.

Cuadro 74. Equipo para la realización de los tratamientos

Equipo	Cantidad
Olla acero inoxidable 15 galones con tapadera	1
Cubeta plástica multiusos de 5 galones	2
Paleta plástica para altas temperaturas	2
Tijeras de hojalatero	1
Resistencia eléctrica*	1
Licadora Industrial*	1
Balanza (0-25 Kg)	1

\*Las especificaciones del equipo se encuentra en la sección de apéndice, datos de placa.

a. **Tratamiento mecánico:** Se corta la fibra en pedazos de 1 cm de largo para introducir en una licuadora industrial y agregar 30 partes de agua por 1 parte de fibra por 5 min. Al finalizar determinar si se obtuvo pasta celulósica.

b. **Pre-tratamiento térmico:** Se calienta agua a temperaturas de 88.9-98.5°C y se colocan los pedazos de pinzote de 30 cm de longitud y 10 cm de ancho por 2 horas. Después se extra y limpia la fibra como se describió en el procedimiento de extracción de fibra. Para la realización del tratamiento mecánico se corta la fibra en pedazos de 1 cm de largo para introducir en una licuadora industrial 30 partes de agua por 1 parte de fibra por 5 min. Al finalizar determinar si se obtuvo pasta celulósica.

c. **Post-tratamiento térmico:** Se corta el pinzote, se extrae y limpia la fibra como se describió en el procedimiento de extracción de fibra. La fibra se calienta con agua a temperaturas de 88.9-98.5°C por 2 horas. Para la realización del tratamiento mecánico se corta la fibra en pedazos de 1 cm de largo para introducir en una licuadora industrial 30 partes de agua por 1 parte de fibra por 5 min. Al finalizar determinar si se obtuvo pasta celulósica.

d. **Tratamiento químico 1, método Kraft:** Se realiza una solución de hidróxido de sodio al 15% en base a 10 partes de agua por 1 parte de fibra extraída y se coloca la fibra en la solución a 128.9-178.9 ° C por 4 horas. La fibra obtenida se lava con 10 etapas de lavado en serie con agua (10 Kg de agua por etapa de lavado). Para la realización del tratamiento mecánico

se corta la fibra en pedazos de 1 cm de largo para introducir en una licuadora industrial 30 partes de agua por 1 parte de fibra por 5. Al finalizar determinar si se obtuvo pasta celulósica.

e. Tratamiento químico 2, método de proceso soda modificado: Se realiza una solución de óxido de calcio al 30% en base a 10 partes de agua por 1 parte de fibra extraída y se calienta por 4 horas a una temperatura de 50-60 ° C. La fibra obtenida se lava con 10 etapas de lavado en serie con agua (10 Kg de agua por etapa de lavado). Para la realización del tratamiento mecánico se corta la fibra en pedazos de 1 cm de largo para introducir en una licuadora industrial 30 partes de agua por 1 parte de fibra por 5 min. Al finalizar determinar si se obtuvo pasta celulósica.

Los tratamientos que si obtuvieron pasta celulósica se evalúan su costo en base a la materia prima, equipo, electricidad, grado de dificultad y seguridad. De esta manera se determinó el mejor tratamiento para crear pulpa con base en un análisis costo beneficio el cual fue el tratamiento químico 2. Se llevaron a cabo los siguientes pasos para disminuir cantidad de reactivo y tiempos para crear pasta celulósica.

Ilustración 28. Pasta celulósica



### 3. Reducción de tiempo y reactivo de tratamiento químico 2, método de proceso soda modificado

a. Se realiza una solución de óxido de calcio al 25% (p/p) con base en 10 partes de agua por 1 parte de fibra extraída a 50-60 ° C por 4 horas. Cada media hora se extrae una muestra de fibra de 5 gramos y lava con 5 etapas de lavado en serie con agua. Para la realización del tratamiento mecánico se corta la fibra en pedazos de 1 cm de largo para introducir en una

licuadora industrial 30 partes de agua por 1 parte de fibra por 5 min. Al finalizar determinar si se obtuvo pasta celulósica. Determinar en qué tiempo comienza a crearse la pulpa.

b. Se realiza una solución de óxido de calcio al 10% (p/p) en base a 10 partes de agua por 1 parte de fibra extraída a 50-60 ° C por 4 horas. Cada media hora se extrae una muestra de fibra de 5 gramos y lava con 5 etapas de lavado en serie con agua. Para la realización del tratamiento mecánico se corta la fibra en pedazos de 1 cm de largo para introducir en una licuadora industrial 30 partes de agua por 1 parte de fibra por 5 min. Al finalizar determinar si se obtuvo pasta celulósica. Determinar en qué tiempo comienza a crearse la pulpa.

c. Se realiza una solución de óxido de calcio al 5% (p/p) en base a 10 partes de agua por 1 parte de fibra extraída a 50-60 ° C por 4 horas. Cada media hora se extrae una muestra de fibra de 5 gramos y lava con 5 etapas de lavado en serie con agua. Para la realización del tratamiento mecánico se corta la fibra en pedazos de 1 cm de largo para introducir en una licuadora industrial 30 partes de agua por 1 parte de fibra por 5 min. Al finalizar determinar si se obtuvo pasta celulósica. Determinar en qué tiempo comienza a crearse la pulpa.

4. Realización de bobinas: Para poder realizar las bobinas se necesita del siguiente equipo:

Cuadro 75. Equipo para la realización de bobinas

Equipo	Cantidad
Pila con 3 marcos de un mínimo de 22X20 in y 200 galones de capacidad	1
Marco tamizador de 19X14 in mesh 30	2
Nilón negro 5 yardas	1
Cubeta plástica multiusos de 5 galones	2
Potenciómetro portátil*	1

\*Las especificaciones del equipo se encuentra en la sección de apéndice, datos de placa.

a. Trasladar la pulpa a la pila donde se agrega 1 parte de la solución obtenida en la licuadora con 2 partes de agua. Verificar el pH y si no se encuentra en el rango de 5.5-6.5 agregar jugo de limón hasta alcanzar este rango. Colocar con un movimiento suave el marco hasta tenerlo lleno de pasta celulósica y sacarlo de la pila.

Ilustración 29. Procedimiento para la obtención de pliegos de bobina a base de pasta celulósica



b. Dejar escurrir para quitar el exceso de agua. Darle vuelta al marco en las bolsas de nylon hasta que la bobina se desprenda del marco.

Ilustración 30. Pliego de bobina a base de pasta celulósica

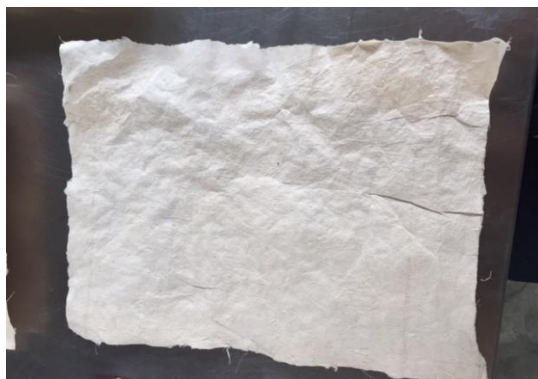


c. Colocar la bobina en la intemperie hasta que se encuentra completamente seca.

Ilustración 31. Procedimiento de secado para el pliego de bobina



Ilustración No. 32. Pliego de bobina después de etapa de secado



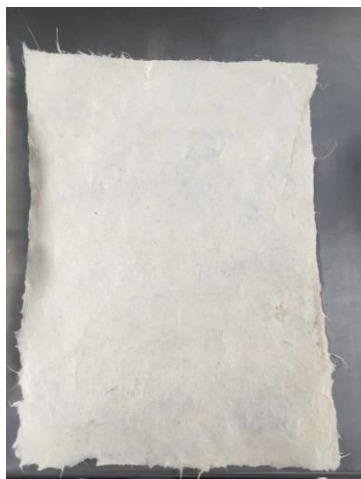
d. Cuando la bobina este completamente seca, pasar la bobina por el molino de rodillos.

Ilustración No. 33. Pliego de bobina seco en el molino de rodillos del Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala



\*Las especificaciones del equipo se encuentra en la sección de datos de placa.  
placa.

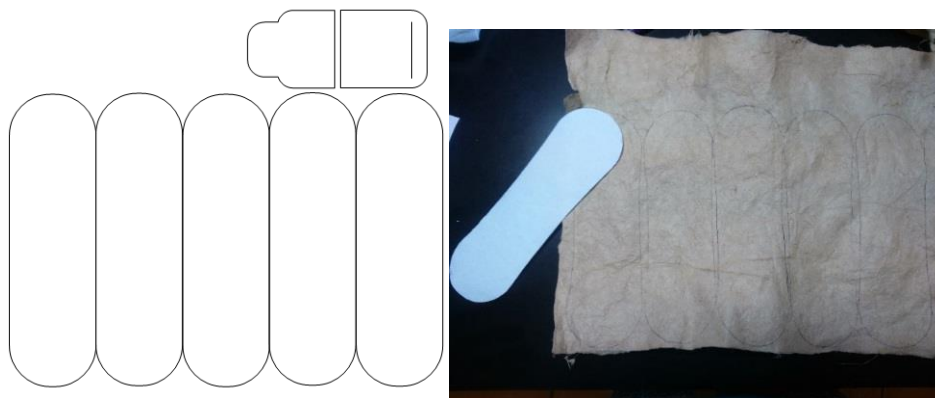
Ilustración No. 34. Pliego de bobina liso



## B. Elaboración de toalla sanitaria a base de fibra de banano

Elaboración de una toalla sanitaria partir de los pliegos de bobina de la fibra del pinzote banano. Materiales: hilo de algodón, máquina de coser plana de un 1 hilo, tijeras, balanza y moldes. A continuación, se enumeran los pasos a seguir para realizar el procedimiento para la elaboración de una toalla sanitaria a partir de las bobinas de fibra del pinzote de banano previamente procesadas.

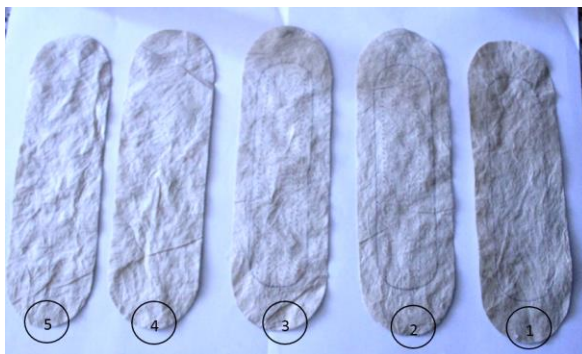
1. Después de recibir los pliegos de bobina del molino de rodillos, se procede a trazar sobre cada pliego el primer molde (Ilustración 14, página 122), se deben trazar las alitas de la toalla en el mismo pliego. De un pliego de bobina (19X14 in) se pueden obtener las cinco capas, siendo estas las capas necesarias para producir una toalla sanitaria.



2. Se procede a cortar cada uno de los moldes previamente trazados. Las orillas sobrantes posteriormente se utilizarán como relleno del centro de la toalla sanitaria



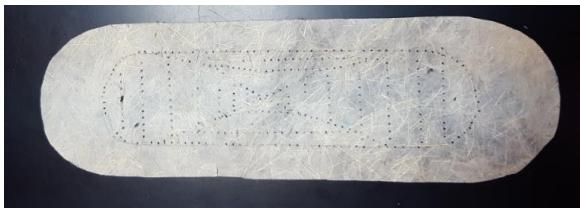
3. Al tener cada capa cortada, se establece cuales conformaran el centro de la toalla sanitaria y exterior de la misma.



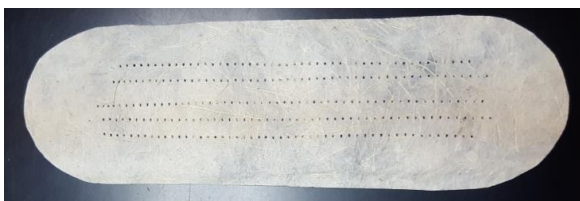
4. A las capas 1,2 y 3 se les trazará el segundo molde (Ilustración 15, página 123) en el centro, esto servirá como guía para realizar posteriormente los orificios específicos de cada una de estas capas.



5. La primera capa se debe puntear con la máquina de coser (sin hilo), siguiendo las indicaciones de la Ilustración 15, página 123.



6. La segunda y tercera capa se debe puntear con la máquina de coser (sin hilo), siguiendo las indicaciones de la Ilustración 15, página 123. Ambas capas tienen el mismo tipo orificios punteados.



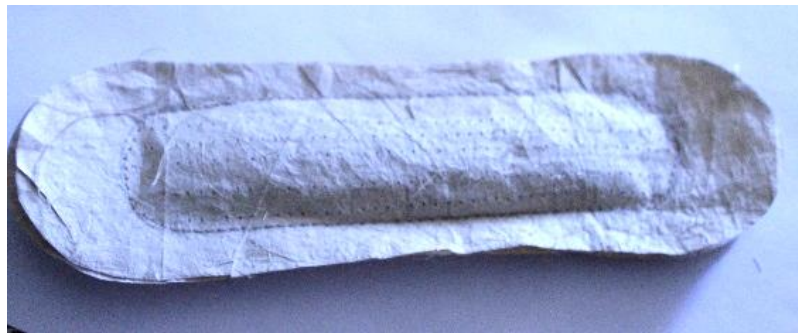
7. Se procede enhebrar nuevamente la máquina. Luego se une la tercera capa con la cuarta, mediante una costura en línea recta. Se cosera únicamente sobre la línea trazada en el centro por el segundo molde, no se debe cerrar la costura en este paso. Se debe dejar una abertura de aproximadamente cuatro centímetros.



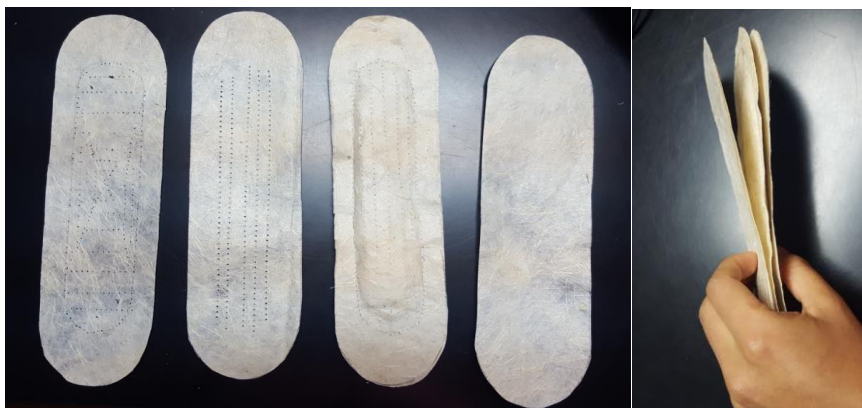
8. Del paso anterior obtenemos una especie de bolsa ovalada, a la cual se le agregaran las orillas remanentes que se tienen de cada bobina, estas ya previamente cortadas en pedazos pequeños de aproximadamente 1x1 cm. Se debe de llenar con 3 gramos.



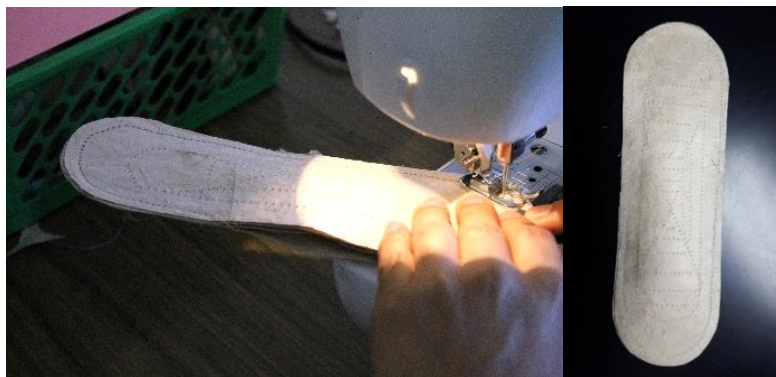
9. Después de haber introducir el relleno se procede a cerrar la costura de ambas capas con la máquina de coser y se obtiene lo que será el centro de la toalla.



10. Se ordenan las capas



11. Se cose la orilla de las cinco capas juntas. Se eliminan los excedentes del hilo que se tengan después de rematar la orilla.



12. Se cosen las alas de la toalla, se vuelven a eliminar los excedentes de hilo que se tengan con una tijera.



## C. Proceso de producción en planta artesanal

1. Descripción del proceso en planta artesanal: El proceso de producción de toallas sanitarias biodegradables propuesto fue diseñado en base a un consumo promedio de 25 toallas sanitarias por persona, para una comunidad de aproximadamente 125 mujeres. El proceso requiere una producción los 7 días de la semana, con 8 horas de trabajo. Se dividió dicho proceso en 5 subprocesos principales (ver diagrama de bloques de procesos), descritos a continuación:

a. Extracción de fibra: se realizará la extracción de la fibra de 9 tallos o troncos de banano por día. Para este subproceso se necesitan de 15 personas encargadas de la extracción; la cual tarda aproximadamente 7 horas, dependiendo de la experiencia y capacitación de la persona.

Para realizar la extracción, se debe quitar la epidermis del tronco (primera capa del tronco) ya que se encuentra dañada. Luego se cortan piezas manejables del córtex del tronco, aproximadamente de 60 x 10 cm. Se utiliza un molino de rodillos para extraer el agua de cada pieza. Con esto se obtiene una pieza más manejable, en la que se logra desprender la capa inferior. Luego el operador debe utilizar un cuchillo para raspar la pieza, logrando separar la fibra. También se debe de asegurar de limpiar la fibra hasta obtener una fibra blanca. Los operadores deben de repetir dichos pasos hasta alcanzar el centro del tronco, el cual es un desecho. Siguiendo este procedimiento se logrará obtener 6.4200 kg de fibra, 277.2600 kg de residuos sólidos (epidermis, centro del tronco y residuos de extracción) y 46.6800 kg de residuos líquidos al día. Los residuos obtenidos en este subproceso son orgánicos y por lo tanto biodegradables.

b. **Suavización:** es necesario realizar una suavización de la fibra para poder romper las moléculas de lignina contenidas en la misma. La lignina es un polímero orgánico importante en la formación de la pared celular ya que proporciona la rigidez y soporte al tronco. Por lo que este paso es fundamental, sin este no se logrará formar la pulpa o pasta celulósica.

Para la suavización, se utilizan 10 partes de óxido de calcio (cal viva) por una parte de fibra. Se deben trabajar tres lotes al día y solo es necesario de un operador para este subproceso. Para esto se debe realizar una solución con 32.1000 kg de agua y 3.2100 kg de óxido de calcio. Luego se debe mezclar la solución con 2.1400 kg de fibra en una olla de 45 L y calentar hasta alcanzar 50 – 60 °C, asegurando de mezclar cada 20 o 30 minutos. Cada lote tarda 2.5 horas desde que se alcanza la temperatura deseada. El proceso tarda 7.5 horas al día, pero se deben de tomar en cuenta el tiempo de pesado y obtención de la solución.

c. **Producción de pulpa:** para la obtención de la pulpa o pasta celulósica, se debe de realizar una solución con agua y zumo de limón criollo. Para esto se utilizan 128.40 kg de agua y 289.00 mL de zumo de limón criollo (2 limones aproximadamente). Esto con el objetivo de bajar el pH de la fibra luego de la suavización. Se debe de mezclar una parte de fibra por 60 partes de solución en una caja almacenadora de polietileno.

Luego el operador debe sacar pequeños pedazos de fibra, exprimirla y, con la ayuda de una tijera, cortar pedazos pequeños aproximadamente de 1 cm hasta obtener alrededor de 0.4 kg de fibra. Posteriormente debe introducir esta cantidad de fibra en la licuadora industrial. La fibra se mezcla con 30 partes de la misma solución en la que se encuentra en remojo, por lo que se agregaría 12 kg de solución, por 5 minutos y después se recolecta en una segunda caja almacenadora o contenedor. Se deben repetir estos pasos hasta finalizar con toda la fibra, se utiliza un tercio de fibra por contenedor (2.1400 kg).

En este subproceso se necesita de dos operarios y se tarda un aproximado de 1.5 horas. Es necesario medir el pH de la solución con la ayuda de un pH-metro, antes y después de agregar el jugo de limón ya que se debe obtener un pH entre 5 y 7. Se necesitan de 6 cajas almacenadoras, 3 para las soluciones y 3 para colocar la pasta celulósica obtenida. Tomar en cuenta que la cantidad de fibra y agua utilizada puede ser un aproximado, pero se debe de respetar la relación 1 a 30 en la licuadora y 1 a 60 en los contenedores.

d. Producción de papel: se necesitan de 2 marcos tamizadores de 0.482 x 0.355 m, Mesh 30. Los 2 operadores que realizaron la producción de la pulpa pueden seguir con este subproceso. Luego de obtener las 3 cajas almacenadoras o contenedores con las proporciones indicadas de pasta celulósica, deben de sumergir el marco hasta obtener el grosor deseado de pulpa (entre 0.10 y 0.19 mm), asegurando de cubrir toda la superficie del marco. Después se debe retirar lentamente, con pequeños movimientos horizontales para escurrir la mayor cantidad de agua posible. Inmediatamente se debe voltear el marco sobre una bolsa de nylon y colocar en la intemperie para obtener las bobinas de papel. Al secarse completamente las bobinas se deben pasar por un molino de rodillos para suavizar el papel y obtener una textura más uniforme.

En un día se lograrán obtener 117 bobinas, en un tiempo estimado de 4.5 a 5 horas (cuatro horas y 30 minutos a cinco horas). El nylon se puede reutilizar con cada producción, por lo que no representa un residuo. El tiempo promedio de secado es de 2.75 horas (2 horas con 45 minutos), con una temperatura ambiente promedio de 28°C y una humedad relativa promedio de 55%. Sin embargo, dicho secado se realizó sobre una superficie negra a una temperatura promedio de 53°C.

e. Confección de toallas sanitarias: en una bobina obtenida se pueden trazar aproximadamente 6 capas para las toallas sanitarias y un par de alitas para una toalla sanitaria. Para esto, un operario traza las capas y alitas con la ayuda de un primer molde y otros dos operarios proceden a cortarlos. El papel restante u orillas de la bobina sirven como viruta de relleno por lo que los mismos dos operarios proceden a cortar el papel restante en pedazos pequeños, todo esto con ayuda de tijeras. El tiempo de trazado tarda aproximadamente 2 horas (1 minuto por bobina) y el de corte 4 horas (2 minutos por bobinas), es por esto que se determinó que se necesitan de 2 operarios para poder realizar el corte en 2 horas. Simultáneamente, un cuarto operario comienza a trazar el segundo molde en el centro de cada capa, el cual sirve como guía para realizar los orificios.

La toalla sanitaria cuenta de 5 capas; en la capa 1, 2 y 3 se realizan puntadas con una máquina de coser (sin hilo) para permitir que el flujo se introduzca con facilidad a la toalla sanitaria

y se logre retener en el relleno de la misma. Para la confección de la toalla sanitaria es necesario de 4 operadores:

- Operador 1: realiza las diferentes puntadas en las primeras tres capas de la toalla sanitaria, en la sección del segundo molde. La primera capa lleva una guía específica en la puntada, mientras que la segunda y tercera capa son puntadas rectas por lo que se pueden pasar ambas al mismo tiempo.
- Operador 2 y 3: unen la tercera y cuarta capa, y agregan 3g de viruta o relleno de la toalla sanitaria. Debe coser solamente en la línea del segundo molde ya que se quiere una especie de bolsa, el cual será el centro de la toalla.
- Operador 4: une las 5 capas de la toalla sanitaria en orden, cosiendo por la orilla del primer molde y eliminando excedentes de hilo. Por último cose las alitas en la parte inferior de la toalla sanitaria.

La etapa de confección de una toalla sanitaria es de 6 horas por día (3 minutos aproximadamente por toalla sanitaria). La longitud de hilo utilizado por toalla sanitaria es de 3.8277 yardas (350 cm), por lo que se necesita de 461.6206 yardas de hilo al día. Se lograrán obtener 603 capas, 117 bobinas y 0.4050 kg de viruta; y con esto se confeccionarán 121 toallas sanitarias biodegradables en un día.

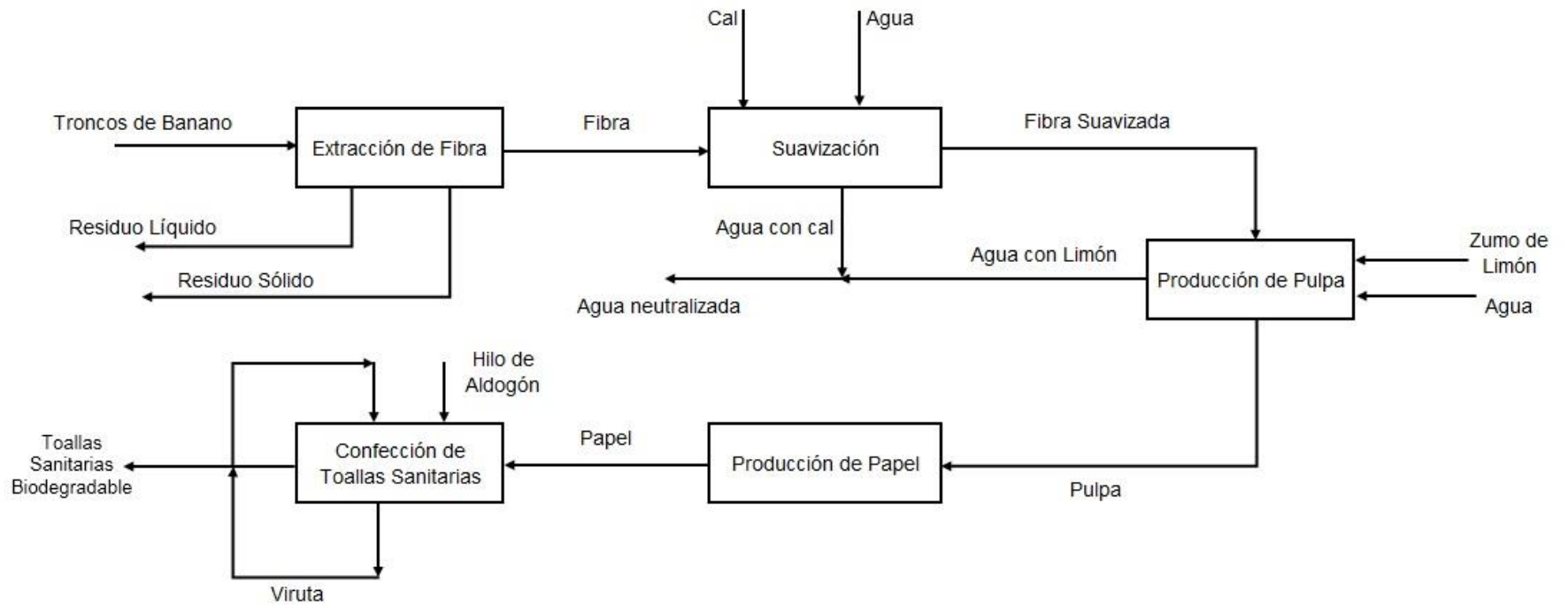
## 2. Materiales y equipo

Cuadro 76. Descripción del material o equipo necesario en cada subproceso.

Subproceso	Cantidad	Material o equipo	Descripción
Extracción de fibra	15	Cuchillos multiuso	Cuchillo multiuso de acero inoxidable de 15 cm.
	1	Molino de rodillos	Molino de dos rodillos con mesa y rodos, acero inoxidable, potencia 1 HP.
	15	Guantes	Guante de nitrilo con interior flocado.
	15	Tablas	Tabla rectangular para picar de 12x16 in.
	2	Cubeta	Cubeta plástica multiusos, con capacidad de 5 galones.
	4	Mesas de trabajo	Mesa plegable de 6 pies, hecha de polietileno y acero.
Suavización	1	Olla	Olla de 40 x 40 cm, con capacidad de 45 litros.
	1	Estufa	Estufa de 1 hornilla, con quemador doble y funcionamiento a gas.
	1	Paleta	Espátula de madera y silicón.
	1	Termómetro	Termómetro de vidrio, líquido orgánico rojo, -20 a 150°C.
	1	Báscula	Báscula electrónica, capacidad 600 kg.
	1	Cubeta	Cubeta plástica multiusos, con capacidad de 5 galones.
Producción de pulpa	1	Licuada industrial	Modelo LTI-25, motor de 3/4 HP, capacidad de 25 litros, vaso de acero inoxidable.
	1	Exprimidor	Exprimidor para limón pequeño.
	2	Cubetas	Cubeta plástica multiusos, con capacidad de 5 galones.
	1	Tijeras	Set de tijeras inoxidables, 5 unidades.
	6	Cajas almacenadoras	Caja almacenadora extra larga de polietileno resistente, capacidad de 40 galones.
	1	pH-metro	pH-metro Milwaukee, con calibración manual.
	1	Beaker	Beaker 1000 mL graduado.
Producción de papel	1	Bolsas negras	Bolsas Kanguro grande multiusos, 76 x 61 cm, 15 galones, 10 unidades.
	2	Marco tamizador	Marcos tamizadores de 0.482 x 0.355 m, mesh 30.
	1	Molino de rodillos	Molino de dos rodillos con mesa y rodos, acero inoxidable, potencia 1 HP.
Confección de toallas sanitarias	4	Máquina de coser	Máquina de coser plana, marca Brother, de 1 hilo, eléctrica.
	1	Tijeras	Set de tijeras inoxidables, 5 unidades.

### 3. Diagrama de bloques de procesos

Ilustración 35 - Diagrama de bloques de procesos para la propuesta de producción en planta artesanal de toallas sanitarias biodegradables.



#### 4. Costo del proceso

##### a. Inversión inicial

Cuadro 77. Comparativa de la inversión inicial utilizando o no precios de mercado artesanal.

Sub-proceso	Cantidad	Material o equipo	Costo unitario	Costo total	Costo unitario en mercado	Costo total en mercado
Extracción de fibra	15	Cuchillos multiuso	Q165.00	Q2,475.00	Q35.00	Q525.00
	1	Molino de rodillos	Q22,600.00	Q22,600.00	x	Q22,600.00
	15	Guantes	Q19.00	Q285.00	Q14.00	Q210.00
	15	Tablas	Q89.00	Q1,335.00	Q26.00	Q390.00
	2	Cubeta	Q50.00	Q100.00	Q32.00	Q64.00
	4	Mesas de trabajo	Q600.00	Q2,400.00	x	Q2,400.00
Suavización	1	Olla	Q220.00	Q220.00	x	Q220.00
	1	Estufa	Q1,799.99	Q1,799.99	x	Q1,799.99
	1	Paleta	Q20.00	Q20.00	Q12.00	Q12.00
	1	Termómetro	Q84.50	Q84.50	x	Q84.50
	1	Báscula	Q4,300.00	Q4,300.00	x	Q4,300.00
	1	Cubeta	Q50.00	Q50.00	Q32.00	Q32.00
Producción de pulpa	1	Licadora industrial	Q11,999.99	Q11,999.99	x	Q11,999.99
	1	Exprimidor	Q35.00	Q35.00	Q28.00	Q28.00
	2	Cubetas	Q50.00	Q100.00	Q32.00	Q64.00
	1	Tijeras	Q75.00	Q75.00	Q29.50	Q29.50
	6	Cajas almacenadoras	Q350.00	Q2,100.00	x	Q2,100.00
	1	pH-metro	Q269.00	Q269.00	x	Q269.00
	1	Beaker	Q85.00	Q85.00	x	Q85.00

## Continuación Cuadro 77

Producción de papel	1	Bolsas negras	Q13.30	Q13.30	x	Q13.30
	2	Marco tamizador	Q115.00	Q230.00	x	Q230.00
	1	Molino de rodillos	Q22,600.00	Q22,600.00	x	Q22,600.00
Confección de toallas sanitarias	4	Máquina de coser	Q1,199.00	Q4,796.00	x	Q4,796.00
	1	Tijeras	Q75.00	Q75.00	Q29.50	Q29.50
Costo total				Q78,047.78		Q74,881.78

## b. Costo mensual y anual

Cuadro 78. Costo mensual y anual de los insumos del proceso.

Insumo	Descripción	Costo	Costo mensual	Costo anual
Óxido de calcio	Cal hidratada HORCALSA, 40 libras.	Q32.50	Q487.50	Q5,850.00
Limón	Limón criollo, unidad.	Q0.28	Q117.60	Q1,411.20
Hilo	Cono de hilo de algodón, 500 yardas.	Q5.00	Q130.00	Q1,560.00
Agua	Costo por kg de agua utilizada en la finca Primavera.	Q0.0024	Q32.36	Q388.28
Electricidad	Costo por kWh en la finca Primavera.	Q1.18	Q67.08	Q804.98
Total			Q834.54	Q10,014.46

c. Costo de la toalla sanitaria: El costo unitario de la toalla sanitaria biodegradable es de Q 0.25, tomando en cuenta solamente los costos del proceso (insumos).

## D. Proceso de producción industrial

## 1. Descripción del proceso industrial y equipos seleccionados

a. Extracción de fibra: se realiza mediante un desfibrador o extractor de fibra de banano. Según la literatura, la corteza bruta del tallo del tronco de banano posee 31.40% de fibra, por lo que se necesitarán 584 tallos y con esto se logrará la extracción de 5.02 t de fibra al día.

Cuadro 79. Especificaciones del extractor de fibra de banano.

Marca	Weijin
Modelo	ZGM-4401
Voltaje	220/380 V
Diámetro de cuchilla	440 mm
Peso	100 Kg
Potencia del motor	7.50 kW
Capacidad	2 t/h
Dimensiones	3.1 x 1.25 x 1.31 m

Ilustración 36 - Extractor de fibra de banano.



La fibra se reducirá de tamaño, utilizando un triturador de discos dentados o cuchillas, esto con el fin de facilitar la obtención de pulpa y un manejo más fácil en el tratamiento para la suavización.

Cuadro 80. Especificaciones del triturador de discos dentados.

Marca	Shuguang
Modelo	SG-500
Potencia	15 kW
Capacidad	0.4 -0.8 t/h
Peso	1.5 t
Puerto de alimentación	680 x 760 mm
Dimensiones	1.45 x 0.87 x 2.2 m

Ilustración 37. Triturador de discos dentados.

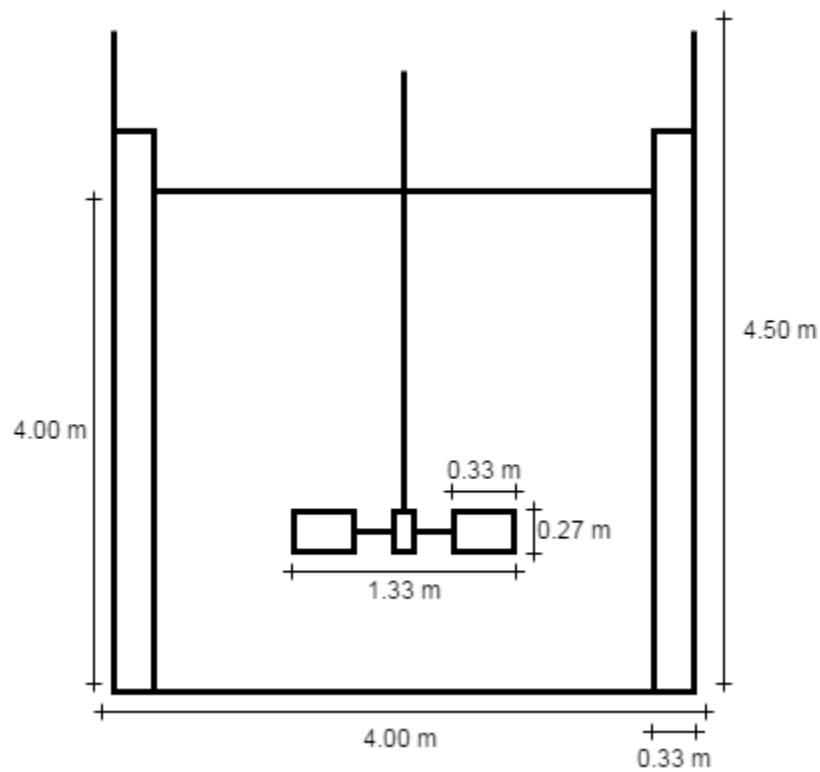


b. Tanques de tratamiento: se realizará la suavización de la fibra con una solución de óxido de calcio al 10%. Para esto se necesita de 75.36 t de agua y 7.54 t de óxido de calcio al día. Para esto se utilizará un tanque agitado de acero inoxidable. Para la agitación se utilizará una turbina de palas rectas y deflectores. Se determinaron las siguientes dimensiones para el equipo:

Cuadro 81. Dimensiones del tanque agitado.

Volumen tanque (m <sup>3</sup> )	30.15
Diámetro del tanque (m)	3.17
Altura del tanque (m)	3.81
Altura de la solución (m)	3.17
Diámetro del rodete (m)	1.06
Altura de las palas (m)	0.21
Base de las palas (m)	0.26
Ancho del deflector (m)	0.26

Ilustración 38. Diseño del tanque agitado.



c. Producción de pulpa: se obtendrá la pasta celulósica mediante un despulpador. Para esto se agrega una solución de agua con zumo de limón para regular el pH de la pulpa obtenida, la cual tiene que llegar a un pH = 6. El equipo posee un rotor en espiral que promueve la circulación, rompimiento y fricción entre las fibras hasta alcanzar la consistencia deseada de pulpa. Para obtener una consistencia del 10% y el pH requerido, se utilizan 50.24 t de agua y 113.08 litro de zumo de limón al día.

Cuadro 82. Especificaciones del despulpador.

Marca	LeiZhan
Modelo	ZDSG 15
Volumen	15 m <sup>3</sup>
Consistencia	10 – 15 %
Capacidad	60 – 70 t/d
Potencia	315 kW

Ilustración 39. Despulpador para la obtención de pasta celulósica.



d. Producción de papel: para esta parte del proceso se debe utilizar una máquina de papel de mesa plana. Esta cuenta con una sección de tela en donde se forma la hoja, una sección de prensas y secadores los cuales eliminan el contenido de agua en la hoja de papel y por último una sección bobinadora, en la cual se enrolla y obtienen bobinas de papel. Se estimó que se lograrán obtener 0.82 t de papel al día.

Cuadro 83. Especificaciones de la máquina de papel de mesa plana.

Marca	Guangmao Machinery
Modelo	3200 mm
Voltaje	380 V
Velocidad	80 – 150 m/min
Potencia	180 kW

Cabeza y caja de entrada: ingresa la pulpa formada anteriormente a una mesa plana con una tela, la cual es una cinta sin fin de materiales sintéticos (poliéster y poliamida), sobre la cual se forma la hoja. El ancho de la cinta es de 4.3 m y el rodillo de succión está recubierto con caucho.

Ilustración 40. Cabeza y caja de entrada de la máquina de papel de mesa plana.



Sección prensas y secadores: consiste en rodillos de mármol natural, rodillos de goma y caucho y un dispositivo de presión neumática. Para el secado se utilizan rodillos secadores, en donde se obtiene un papel con 3 – 4% de humedad.

Ilustración 41. Sección de prensas y secadores de la máquina de papel.



e. Obtención de capas y viruta: para las capas 1, 2 y 3 se pasará la bobina de papel por prensas de cilindros, en donde uno de estos es un rodillo dentado, lo cual permite obtener los agujeros deseados en las capas. Se utilizarán dos prensas ya que la primera capa posee un diseño distinto de agujeros que las capas 2 y 3.

Cuadro 84. Especificaciones de la prensa de cilindros.

Marca	Guoguang Group
Papel	1880 – 10000 mm
Velocidad	50 – 1000 m/min
Presión lineal	50 – 300 kN/m

Ilustración 42. Prensa de cilindros.



Al obtener las diferentes texturas deseadas, las bobinas pasan por máquinas de troquelar hidráulicas de carro móvil. Esta máquina utiliza un troquel plano, con un movimiento perpendicular a la plancha para una mayor precisión en el corte de la capa. Se pueden alimentar 1 o 2 rollos al mismo tiempo mediante un sistema de alimentación de rodillos. Se estimó que se lograrán obtener 472,256 capas al día.

Cuadro 85. Especificaciones del equipo de troquelado.

Marca	SYSCO MACHINERY
Modelo	Sysco CPC-E25
Presión	25 ton
Motor principal	3 HP
Peso neto	2800 kg

Ilustración 43. Equipo de troquelado de papel.



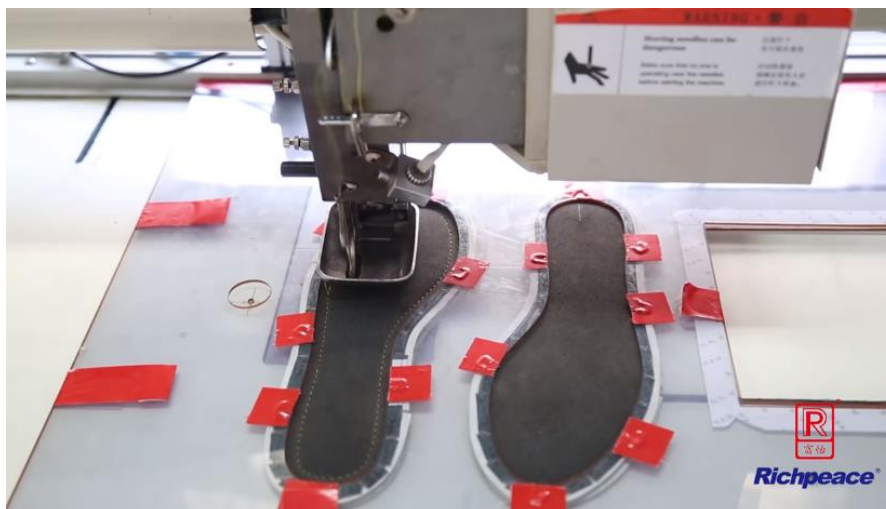
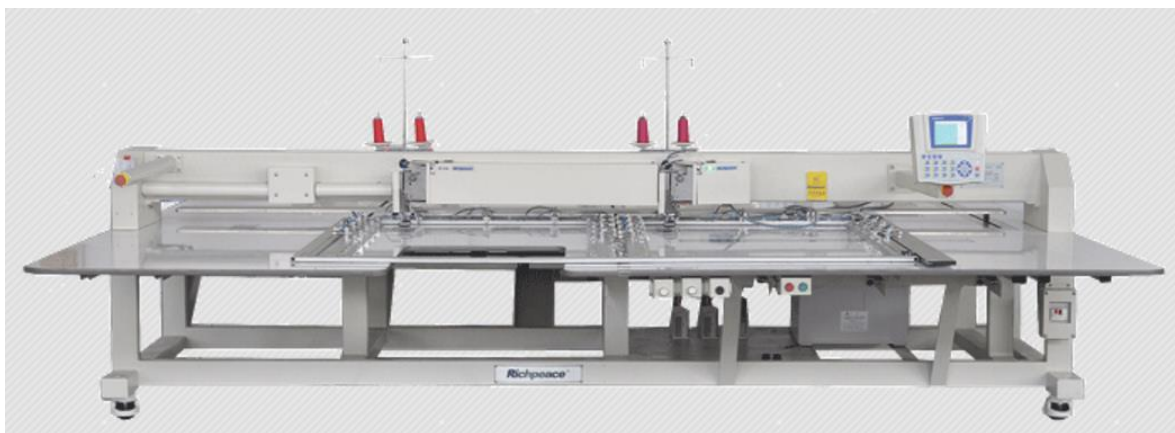
La viruta o relleno de la toalla sanitarias se obtendrá triturando el sobrante de papel luego de obtener las capas. Este sobrante pasará en un triturador de discos dentados o cuchillas, para lograr la reducción de tamaño del papel, igual al utilizado para triturar la fibra antes de la suavización; el cual permitirá obtener 0.32 t de viruta en un día.

f. Confección de toallas sanitarias: la unión de las capas y la confección final de la toalla sanitaria se realizaría con una máquina de coser automática de cabezas múltiples. Cada cabeza es capaz de confeccionar varias toallas sanitarias a la vez y los moldes se realizan a la medida según sea la necesidad. El equipo se puede configurar para realizar las puntadas del centro de la toalla (capas 3 y 4) o para realizar las puntadas para la confección final. El ingreso de la viruta o relleno puede ser manual, al mismo tiempo que se ajusta el molde. Se utilizarán 0.28 t de viruta para el relleno, 361,530.86 yardas de hilo de algodón y se lograrán producir 94,451 toallas sanitarias al día aproximadamente. En un mes se pueden producir hasta 2, 644,633 toallas sanitarias biodegradable, lo que equivale a 105,785 mujeres si estas tienen un consumo de 25 toallas sanitarias cada una.

Cuadro 86. Especificaciones de la máquina de coser automática de cabezas múltiples.

Marca	RICH PEACE
Modelo	RPS-AT-04-800X950
Cabezas	4
Velocidad de cosido	2,500 puntadas/min
Largo de la puntada	0.5 – 12.7 mm
Voltaje	220 / 380 V

Ilustración 44. Máquina de coser automática de cabezas múltiples.



## E. Datos originales

Cuadro 87. Medidas de largo, ancho y peso de los pseudotallos previo a su manipulación

Pseudotallo	Largo [cm±0.05 cm]	Perímetro 1 [cm±0.05 cm]	Perímetro 2 [cm±0.05 cm]	Diámetro 1 [cm±0.05 cm]	Diámetro 2 [cm±0.05 cm]	Masa (lb) ±0.05lb	Masa (kg) ±0.02kg
1	177.00	72.00	60.00	21.50	18.00	68.00	30.84
2	180.00	80.00	63.50	20.00	18.00	94.50	42.86
3	170.00	66.50	56.00	22.00	16.50	61.00	27.67
4	167.00	74.00	55.50	22.50	16.50	59.50	26.99
5	172.00	74.00	56.50	22.50	18.00	72.50	32.89
6	170.00	85.00	71.00	25.50	21.50	90.50	41.05
7	173.00	81.00	65.00	24.00	20.00	87.00	39.46
8	173.00	80.00	65.50	27.00	19.50	89.00	40.37
9	173.00	77.00	61.50	26.00	18.00	82.00	37.19
10	171.00	91.00	70.00	26.50	22.50	112.50	51.03
11	172.00	84.00	64.00	24.50	18.50	94.00	42.64
12	167.00	64.00	55.00	19.00	16.50	64.50	29.26
13	173.00	85.00	84.00	25.00	23.00	116.00	52.62
14	171.00	84.50	72.00	26.00	23.00	116.00	52.62
15	179.00	85.00	69.00	26.00	20.50	106.00	48.08
16	177.00	85.00	61.00	27.00	18.00	85.50	38.78

Cuadro 88. Datos obtenido en pruebas de porcentaje de humedad en el pseudotallo de estudio No. 1 a 140  
°C de operación

Capa foliar	altura ±0.05mm	largo ±0.05mm	grosor ±0.05mm	Peso ±0.001g	Porcentaje de humedad	tiempo min±0.1
Centro	9.00	9.00	7.83	0.582	96.91	34.6
medio	10.07	11.21	10.35	0.505	93.80	19.2
externa	10.71	11.37	7.61	0.490	92.86	23.1
Centro	8.47	9.92	6.92	0.399	96.74	26.9
medio	11.13	10.60	10.88	0.671	91.36	21.8
externa	11.77	10.98	7.03	0.398	93.72	21.3
Centro	11.23	8.53	7.82	0.679	97.2	38.6
medio	8.43	9.45	10.68	0.490	93.93	20.0
externa	11.22	9.53	6.74	0.286	91.26	17.6

Cuadro 89. Datos obtenido en pruebas de porcentaje de humedad en el pseudotallo de estudio No. 2 a 140  
°C de operación

Capa foliar	altura ±0.05mm	largo ±0.05mm	grosor ±0.05mm	Peso ±0.001g	Porcentaje de humedad	tiempo min±0.1
Centro	10.11	10.85	11.72	1.339	98.73	51.4
medio	9.71	9.6	6.34	0.277	94.95	19.4
externa	10.85	8.85	6.36	0.368	91.3	24.2
Centro	10.8	9.81	10.32	0.589	95.42	27.7
medio	10.57	8.32	8.61	0.421	94.3	22.6
externa	10.92	9.59	12.1	0.83	93.8	25.8
Centro	10.2	11.58	9.67	0.63	96.41	28.7
medio	9.4	11.37	11.46	0.53	95.77	26.1
externa	9.47	10.38	5.62	0.416	94.74	23.9

Cuadro 90. Datos obtenidos en pruebas de porcentaje de humedad en el pseudotallo de estudio No. 3 a 140 °C de operación

Capa foliar	altura ±0.05mm	largo ±0.05mm	grosor ±0.05mm	Peso ±0.001g	Porcentaje de humedad	tiempo min±0.1
Centro	9.79	11.96	8.80	0.924	97.62	46.1
medio	9.70	10.11	8.31	0.867	95.16	37.0
externa	8.71	9.60	8.30	0.474	90.26	24.2
Centro	9.88	10.98	8.40	0.492	94.72	31.9
medio	9.80	10.68	6.42	0.363	93.11	19.1
externa	12.34	9.94	10.54	0.551	95.46	25.8
Centro	9.02	11.08	8.8	0.781	96.41	38.6
medio	8.57	9.39	8.43	0.449	95.77	23.9
externa	9.23	8.74	9.64	0.342	94.74	22.6

Cuadro 91. Volumen y peso inicial en prueba de pH de la fibra extraída del pseudotallo No. 1

	Muestra No.	Peso muestra (±0.0001 g)	volumen (±0.50 mL)	pH ±0.001
Fibra centro	1	0.5010	50.00	6.037
	2	0.5007	50.00	6.151
	3	0.5009	50.00	6.094
Fibra medio	1	0.5000	50.00	5.897
	2	0.5074	50.00	6.065
	3	0.5037	50.00	6.071
Fibra exterior	1	0.5040	50.00	6.069
	2	0.2000	50.00	6.188
	3	0.3520	50.00	6.129

Cuadro 92. Volumen y peso inicial en prueba de pH de la fibra extraída del pseudotallo No. 2

	Muestra No.	Peso muestra ( $\pm 0.0001$ g)	volumen ( $\pm 0.50$ mL)	pH $\pm 0.001$
Fibra centro	1	0.5038	50.00	5.906
	2	0.4961	50.00	5.994
	3	0.5010	50.00	6.015
Fibra medio	1	0.4902	50.00	5.813
	2	0.5031	50.00	5.846
	3	0.5021	50.00	5.891
Fibra exterior	1	0.5039	50.00	6.095
	2	0.4850	50.00	6.032
	3	0.5018	50.00	6.090

Cuadro 93. Volumen y peso inicial en prueba de pH de la fibra extraída del pseudotallo No. 3

	Muestra No.	Peso muestra ( $\pm 0.0001$ g)	volumen ( $\pm 0.50$ mL)	pH $\pm 0.001$
Fibra centro	1	0.5171	50.00	5.55
	2	0.5034	50.00	6.168
	3	0.5146	50.00	5.473
Fibra medio	1	0.5035	50.00	5.981
	2	0.5209	50.00	5.900
	3	0.5037	50.00	5.842
Fibra exterior	1	0.5116	50.00	5.927
	2	0.4958	50.00	5.998
	3	0.5020	50.00	5.963

Cuadro 94. Lecturas de volumen inicial y final de aceite y masa de la fibra a evaluar para la determinación de densidad del pseudotallo No. 1

	Muestra No.	volumen de aceite ( $\pm 0.50$ mL)	volumen final ( $\pm 0.50$ mL)	Masa de fibra ( $\pm 0.0001$ g)
Fibra centro	1	25.00	26.00	0.5003
	2	35.00	36.00	0.5200
	3	25.00	26.00	0.6959
Fibra medio	1	32.00	33.00	0.5495
	2	29.50	31.00	0.5872
	3	26.00	27.00	0.5715
Fibra exterior	1	25.50	27.00	0.6185
	2	25.50	27.00	0.5763
	3	25.50	27.00	0.4314

Cuadro 95. Lecturas de volumen inicial y final de aceite y masa de la fibra a evaluar para la determinación de densidad del pseudotallo No. 2

	Muestra No.	volumen de aceite ( $\pm 0.50$ mL)	volumen final ( $\pm 0.50$ mL)	Masa de fibra ( $\pm 0.0001$ g)
Fibra centro	1	25.00	26.00	0.5033
	2	25.50	26.50	0.6075
	3	26.00	27.00	0.5625
Fibra medio	1	26.00	27.00	0.4795
	2	25.50	26.50	0.5991
	3	25.00	26.50	0.5109
Fibra exterior	1	25.00	26.00	0.5081
	2	25.50	27.00	0.6580
	3	26.00	27.00	0.4451

Cuadro 96. Lecturas de volumen inicial y final de aceite y masa de la fibra a evaluar para la determinación de densidad del pseudotallo No. 3

	Muestra No.	volumen de aceite ( $\pm 0.50$ mL)	volumen final ( $\pm 0.50$ mL)	Masa de fibra ( $\pm 0.0001$ g)
Fibra centro	1	25.00	26.00	0.0740
	2	25.50	26.50	0.6075
	3	26.00	27.00	0.5625
Fibra medio	1	26.00	27.00	0.5604
	2	25.50	26.50	0.4898
	3	25.00	26.50	0.5109
Fibra exterior	1	25.00	26.00	0.4981
	2	25.50	27.00	0.5589
	3	26.00	27.00	0.5564

Cuadro 97. Lecturas de volumen y masa de aceite utilizadas para determinar la densidad del aceite de canola.

	corrida 1	corrida2	Corrida 3
volumen de aceite [mL]	4.00 $\pm$ 0.03	4.00 $\pm$ 0.03	4.00 $\pm$ 0.03
masa aceite [g]	3.6287 $\pm$ 0.0001	3.6619 $\pm$ 0.0001	3.5666 $\pm$ 0.0001

Cuadro 98. Datos iniciales para la determinación de contenido de ceniza pseudotallo No.1

	Muestra No.	Peso crisol ( $\pm 0.0001$ g)	peso crisol y muestra ( $\pm 0.0001$ g)	peso muestra ( $\pm 0.0001$ g)	crisol y muestra seca $\pm 0.0001$ g
Fibra centro	1	11.6912	12.2824	0.5912	12.2398
	2	15.2574	15.8841	0.6267	15.8382
	3	11.9342	12.5054	0.5712	12.4675
Fibra medio	1	40.1896	41.3282	1.1386	41.2003
	2	36.3689	37.4120	1.0431	37.2962
	3	32.3463	33.4721	1.1258	33.3487
Fibra exterior	1	18.6349	19.6503	1.0148	19.5823
	2	41.7806	42.8018	1.0212	42.7265
	3	22.7175	23.7202	1.0027	23.6502

Cuadro 99. Datos iniciales para la determinación de contenido de ceniza pseudotallo No.2

	Muestra No.	Peso crisol ( $\pm 0.0001$ g)	peso crisol y muestra ( $\pm 0.0001$ g)	peso muestra ( $\pm 0.0001$ g)	crisol y muestra seca $\pm 0.0001$ g
Fibra centro	1	11.6886	12.3755	0.6869	12.3755
	2	11.9313	12.6123	0.6810	12.6123
	3	15.2539	15.9556	0.7017	15.9556
Fibra medio	1	41.7755	42.7636	0.9881	42.7636
	2	36.3632	37.1182	0.7550	37.1182
	3	22.7160	23.5078	0.7918	23.5078
Fibra exterior	1	32.3436	33.5746	1.2310	33.5746
	2	18.6339	19.6090	0.9751	19.6090
	3	40.1867	41.1159	0.9292	41.1159

Cuadro 100. Datos iniciales para la determinación de contenido de ceniza pseudotallo No.3

	Muestra No.	Peso crisol ( $\pm 0.0001$ g)	peso crisol y muestra ( $\pm 0.0001$ g)	peso muestra ( $\pm 0.0001$ g)	crisol y muestra seca $\pm 0.0001$ g
Fibra centro	1	15.2540	15.9340	0.6800	15.9340
	2	11.6894	12.4253	0.7359	12.4253
	3	11.9312	12.6100	0.6788	12.6100
Fibra medio	1	40.1840	40.8969	0.7129	40.8969
	2	22.7163	23.4034	0.6871	23.4034
	3	18.6346	19.4903	0.8557	19.4903
Fibra exterior	1	36.3638	37.2738	0.9100	37.2738
	2	41.7768	42.4764	0.6996	42.4764
	3	32.3443	33.2348	0.8905	33.2348

Cuadro 101. Determinación de pesos directos para el análisis de celulosa, lignina y hemicelulosa de la fibra obtenida del pseudotallo No.1

Exposiciones químicas				Luego alcohol	Luego de KOH	Luego de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> con tara	Tara de filtro
Fibra extraída de	Muestra No.	peso dividido $\pm 0.0001$		Peso seco 1 $\pm 0.0001$	peso $\pm 0.0001$	$\pm 0.0001$	peso $\pm 0.0001$
Centro	1	0.9376	0.9376	0.8768	0.6722	35.3678	35.3319
	2	0.6528	0.6528	0.5829	0.4516	42.841	42.8151
Medio	1	0.8669	0.8669	0.8266	0.6194	33.8723	33.835
	2	0.8728	0.8728	0.8262	0.6504	43.4912	43.4342
Exterior	1	0.9252	0.9252	0.8909	0.6753	35.5867	35.5271
	2	0.8121	0.8121	0.7748	0.6053	36.2005	36.1466

Cuadro 102 Determinación de pesos directos para el análisis de celulosa, lignina y hemicelulosa de la fibra obtenida del pseudotallo No.2

Exposiciones químicas				Luego alcohol	Luego de KOH	Luego de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> con tara	Tara de filtro
Fibra extraída de	Muestra No.	peso dividido $\pm$ 0.0001		Peso seco 1 $\pm$ 0.0001	peso $\pm$ 0.0001	$\pm$ 0.0001	peso $\pm$ 0.0001
Centro	1	0.5588	0.5588	0.4705	0.3779	35.5709	35.5416
	2	0.6659	0.6659	0.5745	0.4372	43.3911	43.3395
Medio	1	0.5763	0.5763	0.4954	0.3878	35.4097	35.3761
	2	0.7004	0.7004	0.6155	0.4849	33.8072	33.7651
Exterior	1	0.5754	0.5754	0.4922	0.3889	42.8201	42.7890
	2	0.5856	0.5856	0.5129	0.4013	36.0625	36.0490

Cuadro 103. Pesos obtenidos para la determinación de retención de agua en las fibras del pseudotallo No.

1

Fibra extraída de	Muestra No.	peso fibra seca $\pm$ 0.0001 g	Peso fibra húmeda luego de centrifugar $\pm$ 0.0001 g
centro	1	0.0518	0.1061
	2	0.0462	0.1021
	3	0.0351	0.0797
medio	1	0.0397	0.0926
	2	0.0379	0.0960
	3	0.0983	0.2370
exterior	1	0.0378	0.0735
	2	0.0277	0.0598
	3	0.0479	0.1078

Cuadro 104. Pesos obtenidos para la determinación de retención de agua en las fibras del pseudotallo No.

2

Fibra extraída de	Muestra No.	peso fibra seca ±0.0001 g	Peso fibra húmeda luego de centrifugar ±0.0001 g
centro	1	0.0310	0.0705
	2	0.0337	0.0749
	3	0.0295	0.0650
medio	1	0.0267	0.0726
	2	0.0269	0.0676
	3	0.0288	0.0758
exterior	1	0.0271	0.0581
	2	0.0291	0.0664
	3	0.0548	0.1304

Cuadro 105. Pesos obtenidos para la determinación de retención de agua en las fibras del pseudotallo No.

3

Fibra extraída de	Muestra No.	peso fibra seca ±0.0001 g	Peso fibra húmeda luego de centrifugar ±0.0001 g
centro	1	0.0521	0.1137
	2	0.0727	0.1601
	3	0.5210	1.1492
medio	1	0.0616	0.1576
	2	0.0287	0.0694
	3	0.0420	0.1098
exterior	1	0.0604	0.1273
	2	0.0528	0.1264
	3	0.0379	0.0876

Cuadro 106. Determinación de pesos en el tiempo de 30, 60 y 80 días para la prueba de degradabilidad de las fibras extraídas

	Fibra extraída de	Peso fibra inicial ±0.0001 g	Peso fibra 30 días ±0.0001 g	Peso fibra 60 días ±0.0001 g	peso fibra 80 días ±0.0001 g	pH inicial ±0.01	pH final ±0.01
Pseudotallo 1	centro	2.4300	1.7294	0.9471	0.9023	6.00	6.91
	medio	1.8664	1.3153	0.8126	0.7799	6.00	6.94
	exterior	2.0780	1.3831	0.4598	0.4383	6.00	6.92
Pseudotallo 2	centro	2.0592	1.5052	0.9166	0.8940	6.00	6.91
	medio	2.1525	1.6417	1.2559	1.2394	6.00	6.65
	exterior	1.0000	0.7966	0.6097	0.5955	6.00	6.79
Pseudotallo 3	centro	1.5028	0.9581	0.4588	0.4063	6.00	6.77
	medio	0.9806	0.6533	0.4170	0.3976	6.00	6.34
	exterior	1.2115	0.8603	0.6061	0.5766	6.00	6.28

Cuadro 107. Pesos de las toallas sanitarias a base de fibra de banano evaluadas en la prueba mecánica de flexión

Toalla sanitaria a base de fibra de banano	Peso ±0.0001 g
Muestra No. 1	9.1856
Muestra No. 2	8.0818
Muestra No. 3	9.0141

Cuadro 108. Pesos de las toallas sanitarias comerciales de día evaluadas en la prueba mecánica de flexión

Toalla sanitaria de día	Peso ±0.0001 g
Muestra No. 1	8.3863
Muestra No. 2	8.4769
Muestra No. 3	8.2518

Cuadro 109. Pesos de las toallas sanitarias comerciales de noche evaluadas en la prueba mecánica de flexión

Toalla sanitaria de noche	Peso $\pm 0.0001$ g
Muestra No. 1	14.4090
Muestra No. 2	14.7328
Muestra No. 3	14.5469

Cuadro 110. Tabulaciones obtenidas en la extracción de fibra lote 1

Fecha	No. Tronco	Masa tronco $\pm 0.01$ (kg)	Masa epidermis $\pm 0.01$ (kg)	Masa agua $\pm 0.01$ (kg)	Masa residuos de extracción $\pm 0.01$ (kg)	Masa fibra $\pm 0.01$ (kg)	Masa parte central del tronco $\pm 0.01$ (Kg)
6/6/2016	6	41.05	4.42	3.18	5.66	0.78	11.74
7/6/2016	6			3.46	10.46		
Totales	6	41.05	4.42	6.64	16.12	0.78	11.74

Cuadro No. 111. Tabulaciones obtenidas en la extracción de fibra lote

Fecha	No. Tronco	Masa tronco $\pm 0.01$ (kg)	Masa epidermis $\pm 0.01$ (kg)	Masa agua $\pm 0.01$ (kg)	Masa residuos de extracción $\pm 0.01$ (kg)	Masa fibra $\pm 0.01$ (kg)	Masa parte central del tronco $\pm 0.01$ (Kg)
6/6/2016	3	27.67	3.26	2.00	10.24	0.46	8.12

Cuadro 112. Tabulaciones obtenidas en la extracción de fibra lote

Fecha	No. Tronco	Masa tronco $\pm 0.01$ (kg)	Masa epidermis $\pm 0.01$ (kg)	Masa agua $\pm 0.01$ (kg)	Masa residuos de extracción $\pm 0.01$ (kg)	Masa fibra $\pm 0.01$ (kg)	Masa parte central del tronco $\pm 0.01$ (Kg)
6/6/2016	15	48.08	9.02	6.92	15.32	0.90	14.18

Cuadro 113. Mediciones de tronco de extracción lote 1

No.	Largo $\pm 0.1$ (m)	Perímetro 1 $\pm 0.1$ (cm)	Perímetro 2 $\pm 0.1$ (cm)	Diámetro 1 $\pm 0.1$ (cm)	Diámetro 2 $\pm 0.1$ (cm)	Masa $\pm 0.01$ (kg)
6	1.7	85.0	71.0	25.5	21.5	41.05

Cuadro 114. Mediciones de tronco de extracción lote 2

No.	Largo ± 0.1 (m)	Perímetro 1 ± 0.1 (cm)	Perímetro 2 ± 0.1 (cm)	Diámetro 1 ± 0.1 (cm)	Diámetro 2 ± 0.1 (cm)	Masa ± 0.01 (kg)
3	1.7	66.5	56.0	22.0	16.5	61.00

Cuadro 115. Mediciones de tronco de extracción lote 3

No.	Largo ± 0.1 (m)	Perímetro 1 ± 0.1 (cm)	Perímetro 2 ± 0.1 (cm)	Diámetro 1 ± 0.1 (cm)	Diámetro 2 ± 0.1 (cm)	Masa ± 0.01 (kg)
15	1.8	85.0	69.0	26.0	20.5	106.00

Cuadro 116. Condiciones y resultados de los diferentes tratamientos utilizados para obtener pasta celulósica

Tratamiento	Temperaturas	Reactivos/ equipo	Tiempo	Formación de pasta celulósica
Mecánico	Ambiente	Licadora industrial	5 min	No
Método Kraft y mecánico	Impregnación: 88.9- 98.5°C Cocimiento: 128.9-178.9 ° C Ambiente	Hidróxido de sodio y calor  licadora industrial	4 horas  5 min	Sí
Método proceso soda modificado y mecánico	Impregnación:50-60°C cocimiento: 50-60°C Ambiente	Carbonato de calcio y calor  Licadora industrial	4 horas  5 min	Sí
Pre-tratamiento térmico y mecánico	88.9-98.5°C Ambiente	Calor  Licadora industrial	2 horas	No
Post-tratamiento térmico y Mecánico	88.9-98.5°C Ambiente	Calor  Licadora industrial	2 horas	No

Cuadro 117. Resultados obtenidos del método proceso de soda modificado y mecánico de reducción de tiempo y reactivos para formación de pasta celulósica

Cantidad de hidróxido de sodio solución (p/p)	Temperatura	Tiempo	Formación de pulpa
30%	50-60°C	4 horas	Sí
25%	50-60°C	0.5 hora	No
25%	50-60°C	1 hora	No
25%	50-60°C	1.5 hora	No
25%	50-60°C	2 hora	Sí
25%	50-60°C	2.5 hora	Sí
25%	50-60°C	3 hora	Sí
25%	50-60°C	3.5 hora	Sí
25%	50-60°C	4 hora	Sí
10%	50-60°C	0.5 hora	No
10%	50-60°C	1 hora	No
10%	50-60°C	1.5 hora	No
10%	50-60°C	2 hora	No
10%	50-60°C	2.5 hora	Sí
10%	50-60°C	3 hora	Sí
10%	50-60°C	3.5 hora	Sí
10%	50-60°C	4 hora	Sí
5%	50-60°C	0.5 hora	No
5%	50-60°C	1 hora	No
5%	50-60°C	1.5 hora	No
5%	50-60°C	2 hora	No
5%	50-60°C	2.5 hora	No
5%	50-60°C	3 hora	No
5%	50-60°C	3.5 hora	Sí
5%	50-60°C	4 hora	Sí

Cuadro 118. Datos obtenidos en la realización de bobinas de lote 1

Corrida	Masa fibra después de lavados $\pm 0.01$ (kg)	Masa agua en licuadora $\pm 0.01$ (kg)	Masa de agua pila $\pm 0.01$ (kg)	Masa agua total $\pm 0.01$ (kg)	Bobinas obtenidas	Tiempo de secado (h)	T. ambiente $\pm 0.5$ (°C)	T. superficie negra $\pm 0.5$ (°C)	Humedad relativa $\pm 1\%$
1	0.20	6.00	12.00	106.38	16	1 - 2	32.0	50.0 – 60.0	53 %
2	0.20	6.00	12.00						
3	0.24	7.00	14.00						
4	0.22	6.64	13.28						
5	0.20	6.04	12.08						
6	0.12	3.78	7.56						
TOTAL	1.18 $\pm$ 0.07	35.46 $\pm$ 0.10	70.92 $\pm$ 0.12						

Cuadro 119. Datos obtenidos en la realización de bobinas de lote 2

Corrida	Masa fibra después de lavados $\pm 0.01$ (kg)	Masa agua en licuadora $\pm 0.01$ (kg)	Masa de agua pila $\pm 0.01$ (kg)	Masa agua total $\pm 0.01$ (kg)	Bobinas obtenidas	Tiempo de secado (h)	T. ambiente $\pm 0.5$ (°C)	T. superficie negra $\pm 0.5$ (°C)	Humedad relativa $\pm 1\%$
1	0.20	6.00	12.00	57.00	9	1 - 2.5	24.7	47.0-55.0	58%
2	0.20	6.00	12.00						
3	0.24	7.00	14.00						
TOTAL	0.64 $\pm$ 0.05	19.00 $\pm$ 0.08	38.00 $\pm$ 0.09						

Cuadro 120. Datos obtenidos en la realización de bobinas de lote 3

Corrida	Masa fibra después de lavados $\pm 0.01$ (kg)	Masa agua en licuadora $\pm 0.01$ (kg)	Masa de agua pila $\pm 0.01$ (kg)	Masa agua total $\pm 0.01$ (kg)	Bobinas obtenidas	Tiempo de secado (h)	T. ambiente $\pm 0.5$ (°C)	T. superficie negra $\pm 0.5$ (°C)	Humedad relativa $\pm 1\%$
1	0.19	5.98	11.96	91.95	13	1-2	31.0	50.0-60.0	54%
2	0.20	6.00	12.00						
3	0.23	5.97	11.94						
4	0.22	6.64	13.28						
5	0.21	6.06	12.12						
TOTAL	1.05 $\pm$ 0.09	30.65 $\pm$ 0.12	61.2 $\pm$ 0.11						

Cuadro No. 121. Espesor, peso y dimensión de las bobinas obtenidas en lote 1

Bobina No.	Espesor $\pm 0.01$ (mm)	Peso $\pm 0.1$ (g)	Dimensión (in)
1	0.10	8.6	19X14
2	0.12	8.9	19X14
3	0.13	8.9	19X14
4	0.15	9.4	19X14
5	0.16	9.9	19X14
6	0.16	10.4	19X14
7	0.17	10.5	19X14
8	0.17	10.6	19X14
9	0.18	11.8	19X14
10	0.18	12	19X14
11	0.19	12.3	19X14
12	0.20	13.8	19X14
13	0.20	15.1	19X14
viruta	-----	7.6	—
Rango Obtenido	0.101 - 0.200	5.0 – 15.1	19X14

Cuadro 122. Espesor, peso y dimensión de las bobinas obtenidas en lote 2

Bobina No.	Espesor $\pm 0.01$ (mm)	Peso $\pm 0.1$ (g)	Dimensión (in)
1	0.11	6.4	19X14
2	0.13	8.3	19X14
3	0.15	8.9	19X14
4	0.16	9.6	19X14
5	0.16	11.1	19X14
6	0.17	11.1	19X14
7	0.18	15.1	19X14
8	0.19	15.9	19X14
9	0.20	16	19X14
Rango Obtenido	0.11 - 0.2	6.4 - 16.0	19X14

Cuadro 123. Espesor, peso y dimensión de las bobinas obtenidas en lote 3

Bobina No.	Espesor $\pm 0.01$ (mm)	Peso $\pm 0.1$ (g)	Dimensión (in)
1	0.10	5.0	19X14
2	0.11	5.0	19X14
3	0.12	5.7	19X14
4	0.12	5.9	19X14
5	0.14	6.1	19X14
6	0.14	6.4	19X14
7	0.14	6.7	19X14
8	0.16	7.1	19X14
9	0.16	7.3	19X14
10	0.17	7.7	19X14
11	0.20	7.9	19X14
12	0.22	7.9	19X14
13	0.23	8.7	19X14
14	0.24	9.1	19X14
15	0.24	9.1	19X14
16	0.24	9.1	19X14
viruta	----	8.9	—
Rango Obtenido	0.10 - 0.24	5.0 - 9.1	19X14

Cuadro 124. Datos obtenidos en la confección de las toallas sanitarias biodegradables.

Lote No.	Tiempo trazado ( $\pm 0.03$ min)	Capas obtenidas	Toallas sanitarias
1	82.08	81	14
2	21.24	36	11
3	90.10	85	13

Cuadro 125. Prueba de absorción en toalla sanitaria a partir de pliegos de fibra extraída del pinzote de banano, lote 1, utilizando solución Meds.

Toalla No.	Peso inicial ( $\pm 0.0001$ g)	Peso final ( $\pm 0.0001$ g)	Volumen de solución Meds ( $\pm 0.05$ mL)
1	8.4990	22.1467	12.20
2	8.5410	23.2289	12.24
3	8.6601	23.3096	12.20
4	8.6100	21.3051	12.25
5	8.2516	21.0403	12.33

Cuadro 126. Prueba de absorción en toalla sanitaria a partir de pliegos de fibra extraída del pinzote de banano, lote 2, utilizando solución Meds

Toalla No.	Peso inicial ( $\pm 0.0001$ g)	Peso final ( $\pm 0.0001$ g)	Volumen de solución Meds ( $\pm$ 0.05 mL)
1	8.9007	22.6793	12.30
2	9.0021	22.7102	12.25
3	8.8614	22.6110	12.29
4	9.0166	22.6939	12.23
5	8.9102	22.7003	12.33

Cuadro 127. Prueba de absorción en toalla sanitaria a partir de pliegos de fibra extraída del pinzote de banano, lote 3, utilizando solución Meds.

Toalla No.	Peso inicial ( $\pm 0.0001$ g)	Peso final ( $\pm 0.0001$ g)	Volumen de solución Meds ( $\pm$ 0.05 mL)
1	8.3712	22.0013	12.19
2	8.2001	21.90611	12.25

Cuadro 128. Prueba de pH realizada en toalla sanitaria a partir de pliegos de fibra extraída del pinzote de banano, lote 1.

Toalla No.	Peso muestra ( $\pm 0.0001$ g)	pH ( $\pm$ 0.001)	T ( $\pm 0.01$ °C)
1	0.5001	8.909	24.72
2	0.5101	9.001	24.72
3	0.5007	9.010	24.72
4	0.5000	8.899	24.72
5	0.5008	8.872	24.72
6	0.5100	9.100	24.72
7	0.5007	8.751	24.72
8	0.5001	8.881	23.61
9	0.5102	9.100	23.61
10	0.5001	9.002	23.61
11	0.5002	8.991	23.61
12	0.5007	9.002	23.61
13	0.5001	8.997	23.61
14	0.5008	9.001	23.61

Cuadro 129. Prueba de pH realizada en toalla sanitaria a partir de pliegos de fibra extraída del pinzote de banano, lote 2.

Toalla No.	Peso muestra ( $\pm 0.0001$ g)	pH ( $\pm 0.001$ )	T ( $\pm 0.01$ °C)
1	0.5007	9.114	23.35
2	0.5001	9.010	23.35
3	0.5102	9.161	23.35
4	0.5007	9.108	23.35
5	0.5001	8.999	23.35
6	0.5008	9.100	23.35
7	0.5000	9.007	23.06
8	0.5008	9.121	23.06
9	0.5001	9.100	23.06
10	0.5002	8.975	23.06
11	0.5007	8.992	22.78
12	0.5001	9.007	22.78
13	0.5001	9.013	22.78
14	0.5102	9.021	22.78

Cuadro 130. Prueba de pH realizada en toalla sanitaria a partir de pliegos de fibra extraída del pinzote de banano, lote 3.

Toalla No.	Peso muestra ( $\pm 0.0001$ g)	pH ( $\pm 0.001$ )	T ( $\pm 0.01$ °C)
1	0.5001	6.902	24.40
2	0.5000	6.891	24.40
3	0.5000	6.814	24.56
4	0.5010	6.791	24.56
5	0.5002	6.900	24.44

Cuadro 131. Prueba de pH realizada en toalla sanitaria comercial, flujo moderado.

Muestra No	Peso muestra ( $\pm 0.0001$ g)	pH ( $\pm 0.001$ )	T ( $\pm 0.01$ °C)
1	5.0010	7.040	23.50
2	5.0003	6.998	23.50
3	5.0002	7.012	23.50

Cuadro 132. Peso de toallas sanitaria a partir de pliegos de fibra extraída del pinzote de banano en un periodo de 30, 60 y 80 días de enterramiento, lote 1.

Muestra No.	Peso inicial ( $\pm 0.0001$ g)	Peso día 30 ( $\pm 0.0001$ g)	Peso día 60 ( $\pm 0.0001$ g)	Peso día 80 ( $\pm 0.0001$ g)
1	8.5902	3.9817	1.9689	0.5776
2	8.6238	4.2631	3.238	2.3596
3	8.5300	3.7582	2.1197	1.8578

Cuadro 133. Peso de toallas sanitaria a partir de pliegos de fibra extraída del pinzote de banano en un periodo de 30, 60 y 80 días de enterramiento, lote 2.

Muestra No.	Peso inicial ( $\pm 0.0001$ g)	Peso día 30 ( $\pm 0.0001$ g)	Peso día 60 ( $\pm 0.0001$ g)	Peso día 80 ( $\pm 0.0001$ g)
1	8.7996	4.2378	1.5466	0.9803
2	8.8151	4.6124	1.8137	1.52678

Cuadro 134. Peso de toalla sanitaria a partir de pliegos de fibra extraída del pinzote de banano en un periodo de 30, 60 y 80 días de enterramiento, lote 3

Muestra No.	Peso inicial ( $\pm 0.0001$ g)	Peso día 30 ( $\pm 0.0001$ g)	Peso día 60 ( $\pm 0.0001$ g)	Peso día 80 ( $\pm 0.0001$ g)
1	8.2912	4.0871	3.525	2.2341

Cuadro 135. Peso de toallas sanitaria comerciales, flujo moderado, en un periodo 30, 60 y 80 días de enterramiento

Muestra No.	Peso inicial ( $\pm 0.0001$ g)	Peso día 30 ( $\pm 0.0001$ g)	Peso día 60 ( $\pm 0.0001$ g)	Peso día 80 ( $\pm 0.0001$ g)
1	8.3863	5.7891	4.3797	4.1011
2	8.4769	5.8170	4.9093	4.0247
3	8.2518	5.6789	4.2757	4.0039

Cuadro 1 Prueba de velocidad de absorción, lote 1.

Muestra No	Peso inicial ( $\pm 0.01$ g)	Peso final ( $\pm 0.01$ g)	Tiempo ( $\pm 0.01$ s)
1	2.20	18.20	44.37
2	2.60	20.20	52.20
3	2.30	19.35	47.48

Cuadro 136. Prueba de velocidad de absorción, lote 2.

Muestra No	Peso inicial ( $\pm 0.01$ g)	Peso final ( $\pm 0.01$ g)	Tiempo ( $\pm 0.01$ s)
1	2.50	20.10	50.13
2	2.30	19.20	48.34
3	2.30	19.35	48.61

Cuadro 137. Prueba de velocidad de absorción, lote 3.

Muestra No	Peso inicial ( $\pm 0.01$ g)	Peso final ( $\pm 0.01$ g)	Tiempo ( $\pm 0.01$ s)
1	2.10	18.45	41.20
2	2.20	18.90	43.11

Cuadro 138. Prueba de velocidad de absorción, toallas femeninas comerciales, flujo moderado

Muestra No	Peso inicial ( $\pm 0.01$ g)	Peso final ( $\pm 0.01$ g)	Tiempo ( $\pm 0.01$ s)
1	1.70	26.50	3.50
2	1.50	21.40	3.28
3	1.50	22.49	3.35

Cuadro 139. Número de colonias por placa contadas después de realizar prueba microbiológica para toallas sanitarias de los lotes 1,2 y 3, así como de una toalla comercial. Tiempo de incubación 48 horas, a 30 °C.

Descripción	Número de colonias por placa
Lote 1, muestra 1	53
Lote 1, muestra 2	38
Lote 2, muestra 1	No representativa, menor a 25 colonias por placa.
Lote 2, muestra 2	29
Lote 3, muestra 1	No representativa, menor a 25 colonias por placa.
Lote 3, muestra 2	51
Lote 1 esterilizada	No representativa, menor a 25 colonias por placa
Lote 2 esterilizada	No representativa, menor a 25 colonias por placa
Lote 3 esterilizada	No representativa, menor a 25 colonias por placa
Toalla comercial, muestra 1	47
Toalla comercial, muestra 2	41

## F. Datos intermedios

Cuadro 140. Determinación de diámetros de forma indirecta de los pseudotallos

Pseudotallo	Diámetro 1 mediante ecuación [cm±0.05 cm]	Diámetro 2 mediante ecuación [cm±0.05 cm]
1	22.92	19.10
2	25.46	20.21
3	21.17	17.83
4	23.55	17.67
5	23.55	17.98
6	27.06	22.60
7	25.78	20.69
8	25.46	20.85
9	24.51	19.58
10	28.97	22.28
11	26.74	20.37
12	20.37	17.51
13	27.06	26.74
14	26.90	22.92
15	27.06	21.96
16	27.06	19.42

Cuadro 141. Obtención del promedio de porcentaje de humedad de las capas foliares de los pseudotallos

	±0.02		
Capa foliar	Pseudotallo 1	Pseudotallo 2	Pseudotallo 3
Centro	96.95	96.20	96.25
Medio	93.03	94.29	94.68
Exterior	92.61	92.60	93.49

Cuadro 142. Obtención del promedio de pH de las fibras extraídas de los pseudotallos

	±0.002		
Fibra extraída de	Pseudotallo 1	pseudotallo2	pseudotallo 3
Centro	6.094	5.972	5.730
Medio	6.011	5.850	5.908
Exterior	6.129	6.072	5.963

Cuadro 143. Determinación de densidad y promedio de resultados para la fibra del pseudotallo No. 1

Fibra extraída de	Muestra No.	volumen desplazado (±0.71mL)	densidad [g/ml]	Promedio [g/ml]
Centro	1	1.00	0.5003 ±0.3538	0.5721 ± 0.7089
	2	1.00	0.5200 ±0.3677	
	3	1.00	0.6959 ±0.4921	
Medio	1	1.00	0.5495 ±0.3886	0.5042 ± 0.5902
	2	1.00	0.3915 ±0.1845	
	3	1.00	0.5715 ±0.4041	
Exterior	1	1.00	0.4123 ±0.1944	0.3614 ± 0.2983
	2	1.00	0.3842 ±0.1811	
	3	1.00	0.2876 ±0.1356	

Cuadro 144. Determinación de densidad y promedio de resultados para la fibra del pseudotallo No. 2

Fibra extraída de	Muestra No.	volumen desplazado ( $\pm 0.71$ mL)	densidad [g/ml]	Promedio [g/ml]
Centro	1	1.00	0.5033 $\pm 0.3559$	0.5578 $\pm 0.6851$
	2	1.00	0.6075 $\pm 0.4296$	
	3	1.00	0.5625 $\pm 0.3977$	
Medio	1	1.00	0.4795 $\pm 0.3391$	0.4731 $\pm 0.5659$
	2	1.00	0.5991 $\pm 0.4236$	
	3	1.00	0.3406 $\pm 0.1606$	
Exterior	1	1.00	0.5081 $\pm 0.3593$	0.4640 $\pm 0.5205$
	2	1.00	0.4387 $\pm 0.2068$	
	3	1.00	0.4451 $\pm 0.3147$	

Cuadro 145. Determinación de densidad y promedio de resultados para la fibra del pseudotallo No. 3

Fibra extraída de	Muestra No.	volumen desplazado ( $\pm 0.71$ mL)	densidad [g/ml]	Promedio [g/ml]
Centro	1	1.00	0.0740 $\pm 0.0523$	0.4147 $\pm 0.5878$
	2	1.00	0.6075 $\pm 0.4296$	
	3	1.00	0.5625 $\pm 0.3977$	
Medio	1	1.00	0.5604 $\pm 0.3963$	0.4636 $\pm 0.5502$
	2	1.00	0.4898 $\pm 0.3464$	
	3	1.00	0.3406 $\pm 0.1606$	
Exterior	1	1.00	0.4981 $\pm 0.3522$	0.4757 $\pm 0.5565$
	2	1.00	0.3726 $\pm 0.1756$	
	3	1.00	0.5564 $\pm 0.3934$	

Cuadro 146. Determinación de densidad y promedio para el aceite de canola.

	corrida 1	corrida2	Corrida 3	promedio
Densidad del aceite [g/mL]	0.9072 $\pm 0.0068$	0.9155 $\pm 0.0069$	0.8917 $\pm 0.0067$	0.9048 $\pm 0.0118$

Cuadro 147. Determinación de contenido de ceniza pseudotallo No. 1

	Muestra No.	muestra peso seco ( $\pm 0.0001g$ )	Humedad $\pm 0.0001g$	peso seco de cenizas y crisol $\pm 0.0001g$	porcentaje de ceniza	
Fibra centro	1	0.5486	0.0426	11.7099	3.4087	$\pm 0.0182$
	2	0.5808	0.0459	15.2801	3.9084	$\pm 0.0172$
	3	0.5333	0.0379	11.9562	4.1253	$\pm 0.0188$
Fibra medio	1	1.0107	0.1279	40.2353	4.5216	$\pm 0.0099$
	2	0.9273	0.1158	36.4215	5.6724	$\pm 0.0108$
	3	1.0024	0.1234	32.3927	4.6289	$\pm 0.0100$
Fibra exterior	1	0.9474	0.0674	18.6864	5.4359	$\pm 0.0106$
	2	0.9459	0.0753	41.8260	4.7997	$\pm 0.0106$
	3	0.9327	0.0700	22.7645	5.0391	$\pm 0.0107$

Cuadro 148. Determinación de contenido de ceniza pseudotallo No. 2

	Muestra No.	muestra peso seco ( $\pm 0.0001g$ )	Humedad $\pm 0.0001g$	peso seco de cenizas y crisol $\pm 0.0001g$	porcentaje de ceniza	
Fibra centro	1	0.6869	0.0000	11.7159	3.9744	$\pm 0.0146$
	2	0.6810	0.0000	11.9580	3.9207	$\pm 0.0147$
	3	0.7017	0.0000	15.2806	3.8050	$\pm 0.0143$
Fibra medio	1	0.9881	0.0000	41.8153	4.0279	$\pm 0.0101$
	2	0.7550	0.0000	36.3960	4.3444	$\pm 0.0133$
	3	0.7918	0.0000	22.7508	4.3950	$\pm 0.0126$
Fibra exterior	1	1.2310	0.0000	32.3954	4.2080	$\pm 0.0081$
	2	0.9751	0.0000	18.6747	4.1842	$\pm 0.0103$
	3	0.9292	0.0000	40.2230	3.9066	$\pm 0.0108$

Cuadro 149. Determinación de contenido de ceniza pseudotallo No. 3

	Muestra No.	Muestra peso seco ( $\pm 0.0001g$ )	Humedad $\pm 0.0001g$	Peso seco de cenizas y crisol $\pm 0.0001g$	Porcentaje de ceniza
Fibra centro	1	0.6800	0.0000	15.2795	3.7500 $\pm 0.0147$
	2	0.7359	0.0000	11.7176	3.8320 $\pm 0.0136$
	3	0.6788	0.0000	11.9574	3.8598 $\pm 0.0147$
Fibra medio	1	0.7129	0.0000	40.2218	5.3023 $\pm 0.0140$
	2	0.6871	0.0000	22.7510	5.0502 $\pm 0.0146$
	3	0.8557	0.0000	18.6690	4.0201 $\pm 0.0117$
Fibra exterior	1	0.9100	0.0000	36.4030	4.3077 $\pm 0.0110$
	2	0.6996	0.0000	41.8160	5.6032 $\pm 0.0143$
	3	0.8905	0.0000	32.3940	5.5811 $\pm 0.0112$

Cuadro 150. Obtención del promedio del contenido de cenizas de las fibras extraídas de los pseudotallos

Fibra extraída de	Pseudotallo 1 %	Pseudotallo 2 %	Pseudotallo 3 %
centro	3.8141 $\pm 0.0313$	5.972 $\pm 0.0251$	5.730 $\pm 0.0213$
medio	4.9410 $\pm 0.0177$	5.850 $\pm 0.0209$	5.908 $\pm 0.0234$
exterior	5.0916 $\pm 0.0184$	6.072 $\pm 0.0170$	5.963 $\pm 0.0249$

Cuadro 151. Determinación de lignina, celulos y hemicelulosa de las fibras extraídas del pseudotallo No. 1

Fibra extraída de	Muestra No.	Hemicelulosa [g]	Celulosa [g]	Lignina [g]
Centro	1	0.2046 $\pm 0.0001$	0.6363 $\pm 0.0001$	0.0359 $\pm 0.0001$
	2	0.1313 $\pm 0.0001$	0.4257 $\pm 0.0001$	0.0259 $\pm 0.0001$
Medio	1	0.2072 $\pm 0.0001$	0.5826 $\pm 0.0001$	0.0368 $\pm 0.0001$
	2	0.1758 $\pm 0.0001$	0.5934 $\pm 0.0001$	0.0570 $\pm 0.0001$
Exterior	1	0.2156 $\pm 0.0001$	0.6157 $\pm 0.0001$	0.0596 $\pm 0.0001$
	2	0.1695 $\pm 0.0001$	0.5514 $\pm 0.0001$	0.0539 $\pm 0.0001$

Cuadro 152. Determinación de lignina, celulos y hemicelulosa de las fibras extraídas del pseudotallo No. 2

Fibra extraída de	Muestra No.	Hemicelulosa [g]		Celulosa [g]		Lignina [g]	
Centro	1	0.0926	±0.0001	0.3486	±0.0001	0.0293	±0.0001
	2	0.1373	±0.0001	0.3856	±0.0001	0.0516	±0.0001
Medio	1	0.1076	±0.0001	0.3542	±0.0001	0.0336	±0.0001
	2	0.1306	±0.0001	0.4428	±0.0001	0.0421	±0.0001
Exterior	1	0.1033	±0.0001	0.3578	±0.0001	0.0311	±0.0001
	2	0.1116	±0.0001	0.3878	±0.0001	0.0135	±0.0001

Cuadro 153. Determinación de porcentajes lignina, celulos y hemicelulosa de las fibras extraídas del pseudotallo No. 1

Fibra extraída de	Muestra No.	Hemicelulosa %		Celulosa %		Lignina %	
Centro	1	23.3349	±0.0163	72.5707	±0.0181	4.0944	±0.0114
	2	22.5253	±0.0246	73.0314	±0.0273	4.4433	±0.0172
Medio	1	25.0665	±0.0174	70.4815	±0.0191	4.4520	±0.0121
	2	21.2781	±0.0173	71.8228	±0.0192	6.8991	±0.0121
Exterior	1	24.2002	±0.0161	69.1099	±0.0177	6.6899	±0.0112
	2	21.8766	±0.0185	71.1668	±0.0204	6.9566	±0.0129

Cuadro 154. Porcentajes promedios de porcentajes hemicelulosa, celulosa y lignina obtenidos de las fibras de los pseudotallos.

Fibra extraída de	Hemicelulosa		Celulosa		Lignina	
Centro	22.3601	±0.0491	71.7032	±0.0545	5.9367	±0.0344
Medio	22.3208	±0.0444	71.4359	±0.0492	6.2433	±0.0311
Exterior	22.2057	±0.0471	72.1450	±0.0524	5.6493	±0.0330

Cuadro 155. Determinación de porcentaje de retención de agua de la fibra extraída del pseudotallo No. 1

Fibra extraída de	Muestra No.	Porcentaje de retención de agua [%]
centro	1	104.8263 ±0.2797
	2	120.9957 ±0.3398
	3	127.0655 ±0.4607
medio	1	133.2494 ±0.4196
	2	153.2982 ±0.4829
	3	141.0987 ±0.1759
exterior	1	94.4444 ±0.3639
	2	115.8845 ±0.5526
	3	125.0522 ±0.3343

Cuadro 156. Determinación de porcentaje de retención de agua de la fibra extraída del pseudotallo No. 2

Fibra extraída de	Muestra No.	Porcentaje de retención de agua [%]
centro	1	127.4194 ±0.5225
	2	122.2552 ±0.4687
	3	120.3390 ±0.5304
medio	1	171.9101 ±0.7449
	2	151.3011 ±0.6742
	3	163.1944 ±0.6646
exterior	1	114.3911 ±0.5607
	2	128.1787 ±0.5587
	3	137.9562 ±0.3109

Cuadro 157. Determinación de porcentaje de retención de agua de la fibra extraída del pseudotallo No. 3

Fibra extraída de	Muestra No.	Porcentaje de retención de agua [%]	
Centro	1	118.2342	±0.2972
	2	120.2201	±0.2151
	3	120.5758	±0.0301
Medio	1	155.8442	±0.3006
	2	141.8118	±0.6046
	3	161.4286	±0.4521
Exterior	1	110.7616	±0.2471
	2	139.3939	±0.3249
	3	131.1346	±0.4351

Cuadro 158. Determinación de porcentajes promedio de retención de agua para las fibras de los pseudotallos

	Promedio fibra de capas foliar centrales		Promedio fibra de capas foliares medias		Promedio fibra de capas foliares externas	
Pseudotallo 1	117.6292	±0.6371	142.5487	±0.6635	111.7937	±0.7413
Pseudotallo 2	123.3378	±0.8798	162.1352	±1.2046	126.8420	±0.8504
Pseudotallo 3	119.6767	±0.3681	153.0282	±0.8126	127.0967	±0.5966
Promedio	120.2146	±1.1469	152.5707	±1.5974	121.9108	±1.2762

Cuadro 159. Determinación de diferencia de pesos y porcentaje de pérdida de peso en el tiempo de 30, 60 y 80 días para la prueba de degradabilidad de las fibras extraídas del pseudotallo No .1

Fibra extraída de	Día 30		Día 60		Día 80	
	Diferencia de peso ±0.0001g	Porcentaje de pérdida de peso	Diferencia de peso	Porcentaje de pérdida de peso	Diferencia de peso	Porcentaje de pérdida de peso
centro	0.7006	28.8313±0.0043	1.4829	61.0247±0.0048	1.5277	62.8683±0.0049
medio	0.5511	29.5274±0.0056	1.0538	56.4616±0.0062	1.0865	58.2137±0.0062
exterior	0.6949	33.4408±0.0051	1.6182	77.8730±0.0061	1.6397	78.9076±0.0061

Cuadro 160. Determinación de diferencia de pesos y porcentaje de pérdida de peso en el tiempo de 30, 60 y 80 días para la prueba de degradabilidad de las fibras extraídas del pseudotallo No .2

Fibra extraída de	Día 30		Día 60		Día 80	
	Diferencia de peso $\pm 0.0001g$	Porcentaje de pérdida de peso	Diferencia de peso	Porcentaje de pérdida de peso	Diferencia de peso	Porcentaje de pérdida de peso
centro	0.5540	26.9037 $\pm 0.0050$	1.1426	55.4876 $\pm 0.0056$	1.1652	56.5851 $\pm 0.0056$
medio	0.5108	23.7305 $\pm 0.0048$	0.8966	41.6539 $\pm 0.0050$	0.9131	42.4204 $\pm 0.0050$
exterior	0.2034	20.3400 $\pm 0.0102$	0.3903	39.0300 $\pm 0.0107$	0.4045	40.4500 $\pm 0.0108$

Cuadro 161. Determinación de diferencia de pesos y porcentaje de pérdida de peso en el tiempo de 30, 60 y 80 días para la prueba de degradabilidad de las fibras extraídas del pseudotallo No .3

Fibra extraída de	Día 30		Día 60		Día 80	
	Diferencia de peso $\pm 0.0001g$	Porcentaje de pérdida de peso	Diferencia de peso	Porcentaje de pérdida de peso	Diferencia de peso	Porcentaje de pérdida de peso
centro	0.5447	36.2457 $\pm 0.0071$	1.0440	69.4703 $\pm 0.0081$	1.0965	72.9638 $\pm 0.0082$
medio	0.3273	33.3775 $\pm 0.0108$	0.5636	57.4750 $\pm 0.0118$	0.5830	59.4534 $\pm 0.0119$
exterior	0.3512	28.9889 $\pm 0.0086$	0.6054	49.9711 $\pm 0.0092$	0.6349	52.4061 $\pm 0.0093$

Cuadro 162. Evaluación de degradación en el tiempo para los pseudotallos A, B, D y E

	Almacenado a la intemperie con exposición solar		Almacenado en bodega sin exposición solar	
Día de almacenamiento	Escala			
Pseudotallo	A	B	D	E
Fecha				
6 de junio (día 1)	1	1	2	2
7 de junio (día 2)	2	2	2	2
8 de junio (día 3)	2	2	3	3
9 de junio (día 4)	2	2	3	3
10 de junio (día 5)	2	2	3	3
13 de junio (día 8)	4	4	3	3
14 de junio (día 9)	4	4	4	4
15 Junio-16 de Septiembre	4	4	4	4

Observaciones: Los troncos comenzaron la experimentación 11 días luego de haber sido cortados. Las escalas se le asignaron a las áreas expuestas a observación es decir toda la parte superficial.

Cuadro 163. Evaluación de degradación en el tiempo para los pseudotallos C y F

	Almacenado a la intemperie con exposición solar	Almacenado en bodega sin exposición solar
Día de almacenamiento	Escala	
Pseudotallo	C	F
Fecha		
21 de junio (día 1)	1	1
22 de junio (día 2)	2	2
23 de junio (día 3)	2	3
24 de junio (día 4)	2	3
27 de junio (día 5)	2	3
28 de junio (día 6)	4	3
29 de junio (día 7)	4	4
30 de junio (día 8)	4	4
30 Junio-16 de Septiembre	4	4

Observaciones: Los troncos comenzaron la experimentación 5 días luego de haber sido cortados. Las escalas se le asignaron a las áreas expuestas a observación es decir toda la parte superficial.

Cuadro 164. Porcentaje de fibra obtenido en relación a la masa del cortex de tronco de banano

No. Tronco	Porcentaje de fibra obtenido
6	3.13±0.04%
3	2.82±0.02%
15	3.61±0.06%

Cuadro 165. Inversión inicial de materiales y equipo para extracción de fibra

Equipo	Cantidad	Costo TOTAL (Q)
Cuchillo de acero inoxidable	1	22.00
Tabla de madera de 12X16 in	1	89.00
Guantes de latex	1	19.00
Molino de rodillos*	1	18,500.00
Mesa de trabajo	1	600.00
	TOTAL	19,230.00

\*Las especificaciones del equipo se encuentra en la sección de apéndice, datos de placa y los precios en la sección de apéndice, cotizaciones.

Cuadro 166. Costo de extracción de fibra con base en consumo eléctrico de equipo y materia prima

Materia prima	Cantidad	Costo	Costo TOTAL (Q)
Pinzote de banano	1	0.00 Q/unidad	0.00
		TOTAL	0.00

Equipo	Cantidad	Tiempo de encendido (h)	Consumo Eléctrico (Kw)**	Costo TOTAL (Q)
Molino de rodillos *	1	1	0.99	1.17
			TOTAL	1.17

\*Las especificaciones del equipo se encuentra en la sección de anexos, datos de placa.

\*\*El costo de la electricidad en Finca Primavera es Q1.18/Kwh.

Cuadro 167. Inversión inicial de materiales para poder realizar los tratamientos químicos y mecánicos

Equipo	Cantidad	Costo TOTAL (Q)
Olla acero inoxidable 15 galones con tapadera	1	2500.00
Cubeta plástica multiusos de 5 galones	2	80.00
Paleta plástica para altas temperaturas	2	78.00
Tijeras de hojalatero	1	100.00
Resistencia eléctrica*	1	199.00
Licadora Industrial*	1	11,999.99
Balanza (0-25 Kg)*	1	645.00
	TOTAL	15,601.99

\*Las especificaciones del equipo se encuentra en la sección de apéndice, datos de placa y los precios en la sección de apéndice, cotizaciones.

Cuadro 168. Costo de tratamiento por el método Kraft y mecánico con base en materia prima y consumo eléctrico de equipo

Materia prima	Cantidad	Costo	Costo TOTAL (Q)
Hidróxido de sodio*	1.5 Kg	15.43 Q/Kg	18.05
Agua**	107.8 Kg	0.002 Q/Kg	0.22
Limón	1 unidad	0.10 Q/unidad	0.10
		TOTAL	18.37

\* Solución de hidróxido de sodio al 15% en base a 10 partes de agua por 1 parte de fibra extraída. Lote 1: 0.78 kg de fibra extraída, 7.8 kg de agua y 1.17 Kg de hidróxido de sodio.

\*\*Agua: sumatoria de 7.8 Kg de agua utilizada para la solución y 10 Kg de agua por etapa de lavado (10 etapas = 100 Kg)

Equipo	Cantidad	Tiempo de encendido (h)	Consumo Eléctrico (Kw)***	Costo TOTAL (Q)
Resistencia**	1	4.0	1.5	7.08
Licadora Industrial**	1	0.5*	5.25	3.10
			TOTAL	10.18

\*Con base en lote 1 en licadora, 6 batch por 5 min= 30 min=0.5 hora.

\*\*Las especificaciones del equipo se encuentra en la sección de apéndice, datos de placa.

\*\*\*El costo de la electricidad en Finca Primavera es Q1.18/Kwh.

Cuadro 169. Costo de tratamiento por el método proceso soda modificado y mecánico con base en materia prima y consumo eléctrico de equipo en base a lote 1

Materia prima	Cantidad	Costo	Costo TOTAL (Q)
Oxido de calcio*	2.34 Kg	1.79Q/Kg	4.19
Agua**	107.8 Kg	0.002 Q/Kg	0.22
Limón	1 unidad	0.10 Q/unidad	0.10
		TOTAL	4.51

\* Solución de óxido de calcio al 30% con base en 10 partes de agua por 1 parte de fibra extraída. Lote 1: 0.78 kg de fibra extraída, 7.8 kg de agua y 2.34 kg de óxido de calcio.

\*\*Agua: sumatoria de 7.8 Kg de agua utilizada para la solución y 10 Kg de agua por etapa de lavado (10 etapas= 100 Kg) por lote 1.

Equipo	Cantidad	Tiempo de encendido (h)	Consumo Eléctrico (Kw)***	Costo energía eléctrica (Q)
Resistencia**	1	4	1.5	7.08
Licadora Industrial**	1	0.5*	5.25	3.10
			TOTAL	10.18

\*Licadora industrial: con base en lote 1 en licadora, 6 batch por 5 min= 30 min=0.5 hora.

\*\*Las especificaciones del equipo se encuentra en la sección de apéndice, datos de placa.

\*\*\*El costo de la electricidad en Finca Primavera es Q1.18/Kwh.

Cuadro 170. Costo de tratamiento por el método de proceso de soda modificado y mecánico donde sí se obtuvo pasta celulósica variando tiempos de reacción y cantidad de óxido de calcio en solución

Cantidad de óxido de calcio solución	Temperatura	Cantidad óxido de calcio (Kg)*	Costo óxido de calcio (Q/Kg)	Costo	Tiempo de encendido hornilla (horas)	Consumo Eléctrico (Kw)**	Costo	Costo TOTAL
30%	50-60°C	3	1.79	5.4	4	2	9.44	14.8
25%	50-60°C	2.5	1.79	4.5	2	2	4.72	9.2
25%	50-60°C	2.5	1.79	4.5	2.5	2	5.9	10.4
25%	50-60°C	2.5	1.79	4.5	3	2	7.08	11.6
25%	50-60°C	2.5	1.79	4.5	3.5	2	8.26	12.7
25%	50-60°C	2.5	1.79	4.5	4	2	9.44	13.9
10%	50-60°C	1	1.79	1.8	2.5	2	5.9	7.7
10%	50-60°C	1	1.79	1.8	3	2	7.08	8.9
10%	50-60°C	1	1.79	1.8	3.5	2	8.26	10.1
10%	50-60°C	1	1.79	1.8	4	2	9.44	11.2
5%	50-60°C	0.5	1.79	0.9	3.5	2	8.26	9.2
5%	50-60°C	0.5	1.79	0.9	4	2	9.44	10.3

\* Solución de óxido de calcio al porcentaje establecido en base a 10 Kg de agua utilizada para un lote de los tratamientos experimentales.

\*\*El costo de la electricidad en Finca Primavera es Q1.18/Kwh.

Cuadro 171. Inversión inicial de materiales para realización de bobinas a base de pasta celulósica

Equipo	Cantidad	Costo Q
Pila con 3 marcos de un mínimo de 22X20 in y 200 galones de capacidad	1	1,175.00
Marco tamizador de 19X14 in mesh 30	2	50.00
Nilón negro 5 yardas	1	50.00
Cubeta plástica multiusos de 5 galones	2	80.00
Potenciómetro portátil*	1	630.00
	TOTAL	1,985.00

\*Las especificaciones del equipo se encuentra en la sección de apéndice, datos de placa y los precios en la sección de apéndice, cotizaciones.

Cuadro 172. Costo de la realización de bobinas a base de pasta celulósica con base en materia prima y consumo eléctrico de equipo

Materia prima	Cantidad	Costo	Costo TOTAL (Q)
Agua*	106.38 kilogramos	0.002 Q/Kg	0.21
		TOTAL	0.21

\*Agua: sumatoria de masa de agua utilizada en la licuadora y masa de agua en la pila de lote 1 (106.38 Kg).

Equipo	Cantidad	Tiempo de encendido (h)	Consumo Eléctrico (Kw)**	Costo energía eléctrica (Q)
Molino de rodillos*	1	0.5	0.99	0.58
				0.58

\*Las especificaciones del equipo se encuentra en la sección de apéndice, datos de placa.

\*\*El costo de la electricidad en Finca Primavera es Q1.1

Cuadro 173. Inversión inicial de materiales para la extracción de fibra, tratamiento por el método proceso soda modificado y mecánico y la realización de bobinas.

Equipo	Cantidad	Costo TOTAL (Q)
Cuchillo de acero inoxidable	1	22.00
Tabla de madera 12X16 in	1	89.00
Guantes de latex	1	19.00
Mesa de trabajo	1	600.00
Olla acero inoxidable 15 galones	1	2500.00
Cubeta plástica multiusos de 5 galones	4	160.00
Paleta plástica para altas temperaturas	2	78.00
Tijeras de hojalatero	1	100.00
Balanza (hasta 40 libras)	1	645.00
Pila con 3 marcos de un mínimo de 22X20 in y 200 galones de capacidad	1	1,175.00
Marco tamizador de 19X14 in mesh 30	2	50.00
Nilón negro 5 yardas	1	50.00
Potenciómetro portátil	1	630.00
	TOTAL	6,118.00

\*Las especificaciones del equipo se encuentra en la sección de apéndice, datos de placa y los precios en la sección de apéndice, cotizaciones.

Cuadro 174. Inversión inicial de equipo para la extracción de fibra, tratamiento por el método proceso soda modificado y mecánico y la realización de bobinas.

Equipo	Cantidad	Costo Q
Molino de rodillos*	1	18,500.00
Resistencia eléctrica*	1	199.00
Licuada Industrial*	1	11,999.99
	TOTAL	30,734.99

\*Las especificaciones del equipo se encuentra en la sección de apéndice, datos de placa y los precios en la sección de apéndice, cotizaciones.

Cuadro 175. Costo de la planta piloto tomando en cuenta el equipo y con base en este calculando la instalación, tubería, electricidad, instrumentos, batería y servicios, excavación y auxiliares en base al Perry.

Detalles	Factor*	Costo (Q)
Equipo	1	30,734.99
Instalación	0.41	12,601.35
Tubería	0.34	10,449.90
Electricidad	0.13	3,995.55
Instrumentos	0.13	3,995.55
Batería y servicios	0.3	9,220.50
Excavación	0.15	4,610.25
Auxiliares	0.52	15,982.19
	TOTAL	91,590.27

\*Método del factor múltiple obtenido del Chemical Engineer's Handbook, Perry, página 9-68 process economics, chapter 9 of the copyright 1999 by the McGrawHill Companies Inc.

Cuadro 176. Costo de extracción de fibra, tratamiento por el método proceso soda modificado y mecánico y la realización de bobinas con base en consumo eléctrico de equipo y materia prima según lote 1

Materia prima	Cantidad	Costo	Costo TOTAL (Q)
Pinzote de banano	1	0.00 Q/unidad	0.00
Óxido de calcio*	0.78 Kg	1.79Q/Kg	1.38
Agua**	214.18 Kg	0.002 Q/Kg	0.25
Limón	1 unidad	0.10 Q/unidad	0.10
		TOTAL	1.73

\* Solución de óxido de calcio al 10% con base en 10 partes de agua por 1 parte de fibra extraída. Lote 1: 0.78 kg de fibra extraída, 7.8 kg de agua y 0.78 kg de óxido de calcio.

\*\*Agua: sumatoria de 7.8 Kg de agua utilizada para la solución, 10 Kg de agua por etapa de lavado (10 etapas= 100 Kg) y 106.38 Kg de agua utilizada en la licuadora y masa de agua en la pila.

Equipo	Cantidad	Tiempo de encendido (h)	Consumo Eléctrico (Kw)****	Costo TOTAL (Q)
Molino de rodillos***	1	1**	0.99	1.16
Resistencia***	1	2.5	1.5	4.42
Licuadora Industrial***	1	0.5*	5.25	3.10
			TOTAL	8.68

\*Licuadora: según lote 1 en licuadora, 6 batch por 5 min= 30 min=0.5 hora.

\*\*Molino de rodillos: 0.5 hora en extracción de fibra y 0.5 hora en realización de bobinas = 1 horas.

\*\*\*Las especificaciones del equipo se encuentra en la sección de apéndice, datos de placa.

\*\*\*\*El costo de la electricidad en Finca Primavera es Q1.18/Kwh.

Cuadro 177. Costo de extracción de fibra, tratamiento por el método proceso soda modificado y mecánico y la realización de bobinas con base en consumo eléctrico de equipo y materia prima con base en lote 2

Materia prima	Cantidad	Costo	Costo TOTAL (Q)
Pinzote de banano	1	0.00 Q/unidad	0.00
Óxido de calcio*	0.46 Kg	1.79Q/Kg	0.82
Agua**	161.6 Kg	0.002 Q/Kg	0.32
Limón	1 unidad	0.10 Q/unidad	0.10
		TOTAL	1.24

\* Solución de óxido de calcio al 10% con base en 10 partes de agua por 1 parte de fibra extraída. Lote 2: 0.46 kg de fibra extraída, 4.6 kg de agua y 0.46 kg de óxido de calcio.

\*\*Agua: sumatoria de 4.6 Kg de agua utilizada para la solución, 10 Kg de agua por etapa de lavado (10 etapas= 100 kilogramos) y 57.00 Kg masa de agua utilizada en la licuadora y masa de agua en la pila.

Equipo	Cantidad	Tiempo de encendido (h)	Consumo Eléctrico (Kw)****	Costo TOTAL (Q)
Molino de rodillos***	1	1**	0.99	1.16
Resistencia***	1	2.5	1.5	4.42
Licuadora Industrial***	1	0.25*	5.25	1.54
			TOTAL	7.12

\*Licuadora: según lote 1 en licuadora, 3 batch por 5 min= 15 min=0.25 hora.

\*\*Molino de rodillos: 0.5 hora en extracción de fibra y 0.5 hora en realización de bobinas = 1 horas.

\*\*\*Las especificaciones del equipo se encuentra en la sección de apéndice, datos de placa.

\*\*\*\*El costo de la electricidad en Finca Primavera es Q1.18/Kwh.

Cuadro 178. Costo de extracción de fibra, tratamiento por el método proceso soda modificado y mecánico y la realización de bobinas con base en consumo eléctrico de equipo y materia prima con base en lote 3

Materia prima	Cantidad	Costo	Costo TOTAL (Q)
Pinzote de banano	1	0.00 Q/unidad	0.00
Óxido de calcio*	0.90 Kg	1.79Q/Kg	1.61
Agua**	200.95 Kg	0.002 Q/Kg	0.40
Limón	1 unidad	0.10 Q/unidad	0.10
		TOTAL	2.11

\* Solución de óxido de calcio al 10% con base en 10 partes de agua por 1 parte de fibra extraída. Lote 3: 0.90 kg de fibra extraída, 9.0 kg de agua y 0.90 kg de óxido de calcio.

\*\*Agua: sumatoria de 9.0 Kg de agua utilizada para la solución, 10 Kg de agua por etapa de lavado (10 etapas= 100 kilogramos) y 91.95 Kg masa de agua utilizada en la licuadora y masa de agua en la pila.

Equipo	Cantidad	Tiempo de encendido (h)	Consumo Eléctrico (Kw)****	Costo TOTAL (Q)
Molino de rodillos***	1	1**	0.99	1.16
Resistencia***	1	2.5	1.5	4.42
Licuadora Industrial***	1	0.42*	5.25	2.60
			TOTAL	8.18

\*Licuadora: con base en lote 1 en licuadora, 5 batch por 5 min= 25 min=0.42 hora.

\*\*Molino de rodillos: 0.5 hora en extracción de fibra y 0.5 hora en realización de bobinas = 1 hora.

\*\*\*Las especificaciones del equipo se encuentra en la sección de apéndice, datos de placa.

\*\*\*\*El costo de la electricidad en Finca Primavera es Q1.18/Kwh.

Cuadro 179. Costo de cada bobina en base a las condiciones de los tres lotes realizados

Lote	Cantidad de bobinas obtenidas (unidad)	Costo de materia prima (Q)	Costo de consumo eléctrico de equipo (Q)	Costo (Q)TOTAL	Pliego de bobina de 19X14 in Q/unidad
1	13	1.73	8.68	10.41	0.80
2	9	1.24	7.12	8.36	0.92
3	16	2.11	8.18	10.29	0.64

Cuadro 180. Pérdida de peso en porcentaje, de toallas sanitaria a partir de pliegos de fibra extraída del pinzote de banano en un periodo de 30, 60 y 80 días de enterramiento, lote 1.

%W (día 30)	%W (día 60)	%W (día 80)
$53.65 \pm 1.32 \times 10^{-3}$	$77.08 \pm 1.47 \times 10^{-3}$	$93.28 \pm 1.59 \times 10^{-3}$
$50.57 \pm 1.30 \times 10^{-3}$	$62.45 \pm 1.37 \times 10^{-3}$	$72.64 \pm 1.43 \times 10^{-3}$
$55.94 \pm 1.34 \times 10^{-3}$	$75.15 \pm 1.47 \times 10^{-3}$	$78.22 \pm 1.49 \times 10^{-3}$

Cuadro 181. Pérdida de peso en porcentaje, de toallas sanitaria a partir de pliegos de fibra extraída del pinzote de banano en un periodo de 30, 60 y 80 días de enterramiento, lote 2.

%W (día 30)	%W (día 60)	%W (día 80)
$51.84 \pm 1.28 \times 10^{-3}$	$82.42 \pm 1.47 \times 10^{-3}$	$88.86 \pm 1.52 \times 10^{-3}$
$47.68 \pm 1.26 \times 10^{-3}$	$79.43 \pm 1.45 \times 10^{-3}$	$82.68 \pm 1.47 \times 10^{-3}$

Cuadro 182. Pérdida de peso en porcentaje, de toalla sanitaria a partir de pliegos de fibra extraída del pinzote de banano en un periodo de 30, 60 y 80 días de enterramiento, lote 3.

%W (día 30)	%W (día 60)	%W (día 80)
$50.71 \pm 1.35 \times 10^{-3}$	$57.49 \pm 1.39 \times 10^{-3}$	$73.05 \pm 1.49 \times 10^{-3}$

Cuadro 183. Pérdida de peso en porcentaje, de toallas sanitarias comerciales en un periodo de 30, 60 y 80 días de enterramiento, lote 1.

%W (día 30)	%W (día 60)	%W (día 80)
$30.97 \pm 1.25 \times 10^{-3}$	$47.48 \pm 1.32 \times 10^{-3}$	$51.10 \pm 1.34 \times 10^{-3}$
$31.38 \pm 1.24 \times 10^{-3}$	$42.09 \pm 1.28 \times 10^{-3}$	$52.52 \pm 1.33 \times 10^{-3}$
$31.18 \pm 1.27 \times 10^{-3}$	$48.18 \pm 1.35 \times 10^{-3}$	$51.48 \pm 1.35 \times 10^{-3}$

Cuadro 184. Factor de velocidad de absorción, toalla sanitarias lote 1.

Muestra No.	FCA
1	$7.45 \pm 0.03$
2	$7.24 \pm 0.03$
3	$7.41 \pm 0.03$

Cuadro 185. Factor de velocidad de absorción, toalla sanitarias lote 2.

Muestra No.	FCA
1	7.04 ± 0.03
2	7.35 ± 0.03
3	7.41 ± 0.03

Cuadro186. Factor de velocidad de absorción, toalla sanitarias lote 1

Muestra No.	FCA
1	7.79 ± 0.03
2	7.59 ± 0.03

Cuadro 187. 2 Factor de velocidad de absorción, toalla sanitarias comercial, flujo moderado.

Muestra No.	FCA
1	14.59 ± 0.09
2	13.27 ± 0.09
3	13.99 ± 0.09

Cuadro 188. Prueba microbiológica realizada para toallas sanitarias de los lotes 1,2 y 3, así como de una toalla comercial. Tiempo de incubación 48 horas, a 30 °C.

Descripción	UFC/ g de muestra
Lote 1, muestra 1	5300
Lote 1, muestra 2	3800
Lote 2, muestra 1	No representativa, menor a 25 colonias por placa.
Lote 2, muestra 2	2900
Lote 3, muestra 1	No representativa, menor a 25 colonias por placa.
Lote 3, muestra 2	5100
Lote 1 esterilizada	No representativa, menor a 25 colonias por placa
Lote 2 esterilizada	No representativa, menor a 25 colonias por placa
Lote 3 esterilizada	No representativa, menor a 25 colonias por placa
Toalla comercial, muestra 1	4700
Toalla comercial, muestra 2	4100

Cuadro 189. Costo de fabricación de una toalla sanitaria a partir de un pliego de fibra extraída del pinzote de banano.

Equipo	Cantidad	Tiempo de encendido (h)	Consumo Eléctrico (Kwh)	Costo de la electricidad (Q/Kwh)	Costo total (Q)
Máquina de coser plana de un hilo	1	0.22	0.013	1.18	0.015

\*Costo de electricidad proporcionado por Finca Primavera

\*Máquina de coser plana, marca Brother, 120 V- 60 Hz, 60 W.

Materia prima	Cantidad	Costo	Costo/ toalla sanitaria producida (Q)
Bobina	1	0.79 Q/unidad	0.79
Cono de hilo de algodón (5000 m)	1	9.30 Q/unidad	0.0065
		TOTAL	0.797

Cuadro 190. Promedios obtenidos de los tres lotes realizados en la producción en planta artesanal.

Descripción	Promedio	Desviación Estándar
Masa tronco ( $\pm 0.0173$ kg)	38.7331	$\pm 10.3683$
Masa epidermis ( $\pm 0.0173$ kg)	5.5667	$\pm 3.0464$
Masa de agua ( $\pm 0.0173$ kg)	5.1867	$\pm 2.7633$
Masa residuos ( $\pm 0.0173$ kg)	13.8933	$\pm 3.1891$
Masa centro del tronco ( $\pm 0.0173$ kg)	11.3467	$\pm 3.0491$
Masa de fibra ( $\pm 0.0173$ kg)	0.7133	$\pm 0.2271$
Porcentaje de fibra (%)	2.5564	$\pm 0.1762$
Residuos sólidos totales ( $\pm 0.0173$ kg)	30.8067	$\pm 8.5458$
Zumo de limón ( $\pm 2.5$ ml)	120	$\pm 3.00$
Bobinas obtenidas	13	$\pm 3.51$
Tiempo de secado (h)	2.75	$\pm 0.90$
Temperatura ambiente ( $\pm 0.173$ °c)	28.0	$\pm 4.0$
Temperatura superficie negra ( $\pm 0.173$ °c)	54.0	$\pm 2.3$
Humedad relativa ( $\pm 0.173$ %)	55.0	$\pm 0.03$
Espesor por bobina ( $\pm 0.0017$ mm)	0.1568	$\pm 0.0050$
Peso por bobina ( $\pm 0.173$ g)	9.4282	$\pm 2.4107$
Capas trazadas por bobina	6	$\pm 1$
Capas obtenidas	67	$\pm 27$
Viruta obtenida ( $\pm 0.01$ g)	45.00	$\pm 2.34$
Viruta en 1 toalla sanitaria ( $\pm 0.01$ g)	3	$\pm 0.12$
Toallas sanitarias	13	$\pm 1.52$

Cuadro 191. Datos obtenidos del balance de masa para cada subproceso en planta artesanal en un día.

Extracción de fibra	Troncos	9
	Residuos sólidos (kg)	277.2600
	Residuos líquidos (kg)	46.6800
	Fibra obtenida (kg)	6.4200
Suavización	Agua (kg)	96.3000
	Cal (kg)	9.6300
Producción de pulpa	Agua (kg)	385.2000
	Zumo de limón (mL)	867.0257
Producción de papel	Bobinas obtenidas	117
	Capas obtenidas	603
	Viruta (kg)	0.4050
Confección de toallas Sanitarias	Viruta (kg)	0.3618
	Toallas sanitarias	121

Cuadro 192. Flujos másicos por hora obtenidos para el proceso de producción en planta artesanal.

Extracción de fibra (7 horas)	Troncos/h	1.2857
	Residuos sólidos (kg/h)	39.6086
	Residuos líquidos (kg/h)	6.6686
	Fibra obtenida (kg/h)	0.9171
Suavización (7.5 horas)	Agua (kg/h)	12.8400
	Cal (kg/h)	1.2840
Producción de pulpa (0.5 horas)	Agua (kg/h)	256.8000
	Zumo de limón (mL/h)	578.0171
Producción de papel (8 horas)	Bobinas obtenidas/h	15
	Capas obtenidas/h	75
	Viruta (kg/h)	0.0506
Confección de toallas sanitarias (8 horas)	Viruta (kg/h)	0.0452
	Toallas sanitarias/h	15

Cuadro 193. Flujo másico de residuos sólidos obtenidos en el proceso en planta artesanal.

Residuos sólidos	
Epidermis (kg/h)	7.1571
Centro del tallo (kg/h)	14.5886
Otros residuos (kg/h)	17.8629

Cuadro 194. Conversiones determinadas experimentalmente para escalar la producción.

Zumo de Limón (mL/kg agua)	2.2508
Papel (kg/kg fibra)	0.1637
Capas/kg fibra	94.0000
Viruta (kg/kg fibra)	0.0631

Cuadro 195. Datos obtenidos para la extracción de fibra en el proceso industrial.

Extractor	t/d	t/h
Tallos	584.23	73.03
Corteza	16.00	2.00
Fibra	5.02	0.63

Cuadro 196. Datos obtenidos para la suavización en el proceso industrial.

Tanque agitado	t/d	t/h
Fibra	5.02	0.63
Agua	75.36	9.42
Cal	7.54	0.94

Cuadro 197. Datos obtenidos para la producción de pulpa en el proceso industrial, utilizando la conversión experimental y una consistencia al 10%.

Despulpador	Por día	Por hora
Fibra (t)	5.02	0.63
Zumo de limón (L)	113.08	14.14
Agua (t)	50.24	6.28

Cuadro 198. Datos obtenidos para la producción de papel en el proceso industrial, utilizando la conversión experimental.

Máquina de papel	Por día	Por hora
Papel (t)	0.82	0.10
Capas	472,256.00	59,032.00
Viruta (t)	0.32	0.04

Cuadro 199. Datos obtenidos para la confección de toallas sanitarias en el proceso industrial.

Máquina de coser	Por día	Por hora
Viruta (t)	0.28	0.04
Toallas sanitarias	94,451	11,806.40
Hilo (yarda)	361,530.86	45,191.36

## G. Cálculos de muestra

Cálculo 1. Determinación de diámetro indirecto.

Se terminó el diámetro de forma indirecta con la ecuación, en donde la circunferencia se determinó de forma directa con una cinta métrica.

$$Diámetro = \left( \frac{circunferencia}{\pi} \right)$$

sustituyendo datos obtenido de cuadro No. XX utilizando los datos del pseudotallo No. 1 como muestra.

$$Diámetro = \left( \frac{72.00 \pm 0.05cm}{\pi} \right)$$

$$Diámetro = 22.92 \pm 0.05cm$$

De la misma forma se determinó el diámetro del resto de los pseudotallos de estudio.

Cálculo 2. Determinación de densidad.

La densidad se define como la masa dividido volumen, siguiendo el procedimiento descrito en la sección de metodología "B,3" se determinó la masa y el volumen de la muestra a analizar; Utilizando los datos para la fibra del centro del pseudotallo uno presentado en el cuadro 47 y 52 se sustituye:

$$= \frac{masa\ de\ fibra\ inicial}{volumen\ desplazado}$$

en donde:

$$volumen\ desplazado = volumen\ final - volumen\ inicial$$

$$volumen\ desplazado = 26.00 \pm 0.50mL - 25.00 \pm 0.50mL$$

$$Volumen\ desplazado = 1.00 \pm 0.71\ mL$$

$$\rho = \frac{0.5003 \pm 0.0001g}{1 \pm 0.71\ mL} = 0.5003 \pm 0.3538g/mL$$

Cálculo 3. Determinación de contenido de cenizas

El contenido de ceniza de ceniza se determinó con la ecuación

$$\% \text{ Ceniza} = \frac{peso\ de\ ceniza}{peso\ muestra\ inicial} \times 100$$

en donde:

$$peso\ de\ ceniza: (peso\ de\ crisol + muestra)_{luego\ de\ incineración} - peso\ de\ crisol$$

Para fines demostrativos se utilizaron los datos de la fibra extraída del centro para el pseudotallo No. 1 mostrados en Cuadro No. 53.

$$\text{Peso de ceniza: } (12.2398 - 11.69.6912) \pm 0.0001g = 0.5486 \pm 0.0001g$$

$$\% \text{ de Ceniza} = \left( \frac{0.5486 \pm 0.0001g}{0.5912 \pm 0.0001g} \right)$$

$$\% \text{ de Ceniza} = 3.4087 \pm 0.0172\%$$

De la misma forma se determinó el porcentaje de contenido de ceniza del resto de la fibra extraída de los pseudotallos de estudio.

Cálculo 4. Determinación de celulosa, lignina y hemicelulosa con análisis químico.

Se realizó la cuantificación de estos componentes de forma directa de acuerdo a la metodología planteada en la sección "B, 5".

Utilizando los datos para la fibra extraída del centro muestra No. 1

*En donde:*

$$\text{Hemicelulosa} = A - B$$

$$\text{Hemicelulosa} = (0.8768 - 0.6722) \pm 0.0001g$$

$$\text{Hemicelulosa} = 0.2046 \pm 0.0001g$$

"A" corresponde al peso de la muestra luego de haber sido lavada con etanol a punto de ebullición; "B" es el peso de la muestra luego del tratamiento con KOH al 24%, lo cual hidrolizó la muestra en medio básico convirtiendo en azúcares solubles a la hemicelulosa, facilitando la separación del compuesto de la fibra.

$$\text{Celulosa} = B - C$$

$$\text{Celulosa} = (0.2046 - 0.0359) \pm 0.0001g$$

$$\text{Celulosa} = 0.6363 \pm 0.0001g$$

El peso "B" es ahora únicamente celulosa y lignina; la fibra remanente se expuso a H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> como se describe en metodología, con lo que se realizó una hidrólisis ácida para extraer la celulosa. El peso de la fibra luego de la hidrólisis ácida es "C".

$$\text{Lignina} = C$$

$$\text{Lignina} = 0.0359 \pm 0.0001g$$

Para la determinación de porcentaje de cada componente se utilizó la siguiente ecuación:

$$\%X = \frac{X}{A} * 100\%$$

*En donde:*

*X es el componente que se desea determinar (lignina, hemicelulosa y celulosa)*

***A es el peso de la muestra luego del tratamiento de etanol***

$$\% \text{ celulosa} = \frac{0.6363 \pm 0.0001g}{0.2046 \pm 0.0001g} * 100\%$$

$$\% \text{ celulosa} = 72.5707 \pm 0.0181\%$$

Cálculo 5. Determinación de porcentaje de retención de agua.

El sistema de tubos se centrifugó a una aceleración radial de 9,8000 m/s<sup>2</sup> lo cual se calibró con el uso de la ecuación No. 4.

$$= (8.943 \times 10^6 \times \frac{1}{r})^2$$

***n = revoluciones por minuto***

***r = distancia radial de la masa de la fibra con el centro de rotación en mm.***

$$n = (8.943 \times 10^6 \times \frac{1}{132.5 \text{ mm}})^2$$

$$n = 259.79 \text{ rpm}$$

Este cálculo se realizó una sola vez, ya que todas las muestras se realizaron con las mismas condiciones de centrifugación. Se utilizó como muestra los datos de la corrida una de la fibra extraída del centro para el pseudotallo No. 1

$$\% \text{ agua absorbido} = \frac{\text{peso húmedo} - \text{peso seco}}{\text{peso seco}} \times 100$$

$$\% \text{ agua absorbido} = \frac{(0.1061 - 0.0518) \pm 0.0001g}{0.0518 \pm 0.0001g} \times 100\%$$

$$\% \text{ agua absorbido} = 104.8263 \pm 0.2797\%$$

Cálculo 6. Determinación de degradación en el tiempo.

La degradación en el tiempo se puede expresar en un cambio de cantidad de materia presente.

$$\% \text{ de degradación} = \frac{\text{Peso en el tiempo 0} - \text{peso en el tiempo } n}{\text{peso en el tiempo 0}} * 100\%$$

*En donde:*

*Peso en el tiempo 0: peso de la fibra antes de ser expuesta a experimentación*

*Peso en el tiempo n: peso de la fibra en el tiempo, en donde "n" puede ser 30, 60 y 80 días.*

Se utilizó como ejemplificación los datos registrados para la fibra extraída del centro del pseudotallo, ver Cuadro. 61

$$\% \text{ de degradación} = \frac{2.4300 \pm 0.0001g - 1.7294 \pm 0.0001g}{2.4300 \pm 0.0001 g} * 100\%$$

$$\% \text{ de degradación} = 28.8313 \pm 0.0043\%$$

Cálculo 7. Cálculo para preparación de solución de KOH al 24% (p/v)

Debido a que el reactivo se encontraba a una pureza inicial de 85%, se debió realizar el siguiente cálculo para obtener una solución al 24% en p/v.

$$gKOH = \frac{24g}{100mL} \times \frac{100g \text{ reactivo}}{85 g KOH} \times 100mL = 282.35 g \text{ de KOH}$$

Cálculo 8. Cálculo para preparación de solución de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> al 72%

En esta preparación, ya que la pureza inicial del reactivo era del 95-97% no se realizó ningún cálculo, se supuso que la pureza era del 100%. Con lo que para la realización de 1 L de solución se utilizaron 720 mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> al 95%.

Cálculo 9. Cálculo para preparación de solución de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> al 5%

En esta preparación, ya que la pureza inicial del reactivo era del 95-97% no se realizó ningún cálculo, se supuso que la pureza era del 100%. Con lo que para la realización de 1 L de solución se utilizaron 50 mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> al 95%.

Cálculo 10. Porcentaje de fibra obtenido en relación a la masa del cortex de tronco de banano

$$\% \text{ fibra} = \frac{\text{fibra extraída}}{\text{Masa del tronco} - \text{masa epidermis} - \text{masa parte central del tronco}} \times 100 \text{ (4)}$$

$$\% \text{ fibra} = \frac{0.78 \pm 0.01 Kg}{41.05 \pm 0.01 Kg - 4.42 \pm 0.01 Kg - 11.74 \pm 0.01 Kg} = 3.13 \pm 0.04\%$$

Realizado con datos obtenidos de extracción de fibra de tronco 6. De la misma manera se realizaron para las demás extracciones.

Cálculo 11. Consumo eléctrico de motor de molino de rodillos para extracción de agua del pinzote de banano

Precio en Finca Primavera

Precio de electricidad	Q1.18/Kwh
agua	Q2.42/m <sup>3</sup>

Datos obtenidos en la sección de datos de placa.

Volts	220
Amperaje	4.5

En la sección de datos calculados en el Cuadro No. 36 se puede observar que el tiempo encendido del molino de rodillos fue de 1 hora

$$Potencia\ Eléctrica = Amperaje(Voltaje)(5)$$

$$Potencia\ Eléctrica = (4.5\ A)(220\ V) = 990.00 \frac{W}{1000} = 0.99\ Kw(1\ hora) = 0.99Kwh$$

El costo de la electricidad en el Finca Primavera es de Q1.18 /Kwh. Por lo que el costo del consumo eléctrico del equipo es de:

$$0.99Kwh \left( \frac{Q1.18}{Kwh} \right) = Q1.17$$

Cálculo 12. Costo de agua en Finca Primavera en quetzales por kilogramo (Q/Kg)

Precio en Finca Primavera

Precio de electricidad	Q1.18/Kwh
agua	Q2.42/m <sup>3</sup>

La temperatura media del departamento de Escuintla por tener un clima cálido oscila entre 27-34°C aproximadamente. La media de la temperatura es 30.5°C. La densidad del agua a 30 y 31°C es de:

30 °C	995.71 Kg/m <sup>3</sup>
31°C	995.41 Kg/m <sup>3</sup>

$$\text{densidad a } 30.5^{\circ}\text{C} = \frac{(995.71 + 995.41)\text{Kg}/\text{m}^3}{2} = 995.56 \text{ Kg}/\text{m}^3$$

El costo del agua en finca primavera es de 2.42 Q/m<sup>3</sup>

$$\text{Costo en } \frac{\text{Q}}{\text{Kg}} = \left(2.42 \frac{\text{Q}}{\text{m}^3}\right) \left(\frac{1 \text{ m}^3}{995.56 \text{ Kg}}\right) = 0.0024 \text{ Q}/\text{Kg}$$

Cálculo No. 13: Costo por pliego de bobina de 19X14 in en base a los costos de consumo eléctrico de equipo y materia prima desde la extracción de fibra, tratamiento por el método proceso soda modificado y mecánico y la realización de bobinas.

El costo de materia prima del lote 1 es de Q1.73 cómo se detalla en el cuadro No. 46.

El costo de consumo eléctrico de equipo del lote 1 es de Q8.68.

Las bobinas obtenidas en el lote 1 fueron 13 bobinas de 19X14 in.

$$\text{costo por bobina} = \frac{\text{Costo total por lote}}{\text{cantidad de bobinas}} \quad (6)$$

$$\text{costo por bobina} = \frac{Q1.73 + Q8.68 = Q10.41}{13 \text{ bobinas}} = Q0.80/\text{bobina}$$

Cálculo 14. Porcentaje de perdida peso durante t días

$$Wt(\%) = \frac{W_o - W_t}{W_o} * 100\%$$

W<sub>o</sub> es el peso original de la muestra antes de la inmersión y W<sub>t</sub> es el peso de la muestra seca después de t días de inmersión.

Ejemplo de cálculo de porcentaje de pérdida de peso para una toalla sanitaria, lote 1, en un periodo de 30 días

$$W_{\text{día } 30} = \frac{7.5902 - 3.9817}{7.5902} * 100\% = 47.54 \%$$

Se realizó el mismo cálculo para determinar el porcentaje de pérdida de peso para un periodo de 80 días para las toallas sanitarias fabricada a partir de cada lote, así como para las toallas comerciales utilizadas como comparación.

Cálculo 15. Velocidad de absorción

$$FCA = \frac{mb - ma}{ma}$$

Donde mb es el peso de la muestra mojada y ma el peso de la muestra sin mojar.

Ejemplo de cálculo de factor de capacidad de absorción, muestra 1, lote 1.

$$FCA = \frac{(18.60 - 2.20) g}{2.20 g} = 7.45$$

Se realizó el mismo cálculo para determinar el factor de capacidad de absorción para las demás pruebas realizadas.

Cálculo 16. Unidades Formadora de Colonias

Se consideraron “representativas” las cajas que tienen un número de colonias dentro del rango de sensibilidad del método, en este caso, entre 25 y 250 UFC.

$$UFC = \frac{\text{No. de colonias por placa} * \text{factor de dilución}}{\text{g de muestra}}$$

\*Factor de dilución: inversa de la dilución.

Ejemplo de cálculo unidades formadores de colonias para la muestra de toalla sanitaria del lote 1.

$$UFC/g = \frac{53 * 100}{1 g} = 5300$$

Se realizó el mismo cálculo para el factor de unidades formadoras de colonias para las demás placas analizadas.

Cálculo 17. Costo de producción de una toalla sanitaria

Especificaciones máquina de coser plana marca Brother modelo PS-3100

Voltaje (V)	120
Frecuencia (Hz)	4.5
Potencia eléctrica (W)	60

El tiempo que se mantuvo encendida a la máquina de coser, para hacer la costura y puntear los moldes fue en promedio de 13 minutos (0.22 h). Con base en esto y al precio del kWh en la Finca Primavera, se calculó el costo eléctrico de producción por toalla sanitaria.

$$0.06 \text{ kW}(0.22 \text{ h}) * \frac{1.18 \text{ Q}}{\text{kWh}} = 0.015 \text{ Q}$$

La cantidad en gramos de hilo en promedio utilizados por toalla sanitaria es de 0.1691, equivalente a 350.4 cm (3.50 m). Un cono de hilo de algodón tiene 5000 m, en base a esto se calculó la cantidad utilizada por toalla sanitaria.

$$\frac{5000 \text{ m/cono}}{3.50 \text{ m/unidad}} = 1427 \frac{\text{unidades}}{\text{cono}}$$

Se pueden producir 1427 toallas sanitarias por cono de hilo de algodón. El precio de cada cono es de 9.3 Q, en base a esto se calculó el costo del hilo utilizado.

$$\frac{9.3 \frac{\text{Q}}{\text{cono}}}{1427 \frac{\text{unidades}}{\text{cono}}} = 0.0065 \frac{\text{Q}}{\text{unidad}}$$

El costo total es la suma de los valores anteriores y el costo promedio de un pliego de bobina (0.79 Q), ya que se utiliza uno para realizar una toalla sanitaria.

$$Q \text{ total} = 0.015 \text{ Q} + 0.0065 \text{ Q} + 0.79 \text{ Q} = 0.81 \text{ Q}$$

Proceso de producción en planta artesanal:

Cálculo 18. Determinación de los troncos necesarios para la extracción, la cantidad de fibra y desechos obtenidos.

$$25 \text{ toallas s.} * 125 \text{ mujeres} = 3125 \text{ toallas s./mes}$$

$$\frac{3125 \text{ toallas s.}}{1 \text{ mes}} * \frac{1 \text{ tronco}}{13 \text{ toallas s.}} * \frac{1 \text{ mes}}{28 \text{ días}} = 8.5851 \approx 9 \text{ troncos/día}$$

$$\frac{0.7133 \text{ kg fibra}}{1 \text{ tronco}} * \frac{9 \text{ troncos}}{1 \text{ día}} = 6.4200 \text{ kg fibra/día}$$

$$\begin{aligned} & \frac{5.5667 \text{ kg epidermis}}{1 \text{ tronco}} + \frac{11.3467 \text{ kg centro}}{1 \text{ tronco}} + \frac{13.8933 \text{ kg residuos}}{1 \text{ tronco}} \\ & = 30.8067 \frac{\text{kg residuos sólidos}}{1 \text{ tronco}} \end{aligned}$$

$$\frac{30.8067 \text{ kg r. sólidos}}{1 \text{ tronco}} * \frac{9 \text{ troncos}}{1 \text{ día}} = 277.2600 \text{ kg r. sólidos/día}$$

$$\frac{5.1867 \text{ kg r. líquidos}}{1 \text{ tronco}} * \frac{9 \text{ troncos}}{1 \text{ día}} = 46.6800 \text{ kg r. líquidos/día}$$

Cálculo 19. Cantidad de agua y cal necesaria para realizar la suavización.

$$\frac{0.7133 \text{ kg fibra}}{1 \text{ tronco}} * 15 \text{ partes de agua} = 10.7000 \frac{\text{kg agua}}{\text{tronco}}$$

$$10.7000 \frac{\text{kg agua}}{\text{tronco}} * \frac{9 \text{ troncos}}{1 \text{ día}} = 96.3000 \frac{\text{kg agua}}{1 \text{ día}} * \frac{1 \text{ día}}{3 \text{ lotes}} = 32.1000 \text{ kg agua/lote}$$

$$10.7000 \frac{\text{kg agua}}{\text{tronco}} * 10\% \text{ óxido de calcio} = 1.0700 \frac{\text{kg cal}}{\text{tronco}}$$

$$1.0700 \frac{\text{kg cal}}{\text{tronco}} * \frac{9 \text{ troncos}}{1 \text{ día}} = 9.6300 \frac{\text{kg cal}}{1 \text{ día}} * \frac{1 \text{ día}}{3 \text{ lotes}} = 3.2100 \text{ kg cal/lote}$$

$$6.4200 \frac{\text{kg fibra}}{1 \text{ día}} * \frac{1 \text{ día}}{3 \text{ lotes}} = 2.1400 \text{ kg fibra/lote}$$

Cálculo 20. Determinación de la cantidad de agua y zumo de limón necesarios para la obtención de la pasta celulósica.

$$\frac{6.4200 \text{ kg fibra}}{1 \text{ día}} * \frac{60 \text{ partes de agua}}{1 \text{ contenedor}} = 385.2000 \frac{\text{kg agua}}{1 \text{ día}} * \frac{1 \text{ día}}{3 \text{ contenedores}}$$

$$= 128.4000 \text{ kg agua/contenedor}$$

$$\frac{120 \text{ mL limón}}{53.3133 \text{ kg agua}} * \frac{385 \text{ kg agua}}{1 \text{ día}} = 867.0251 \frac{\text{mL limón}}{1 \text{ día}} * \frac{1 \text{ día}}{3 \text{ contenedores}}$$

$$= 289.0084 \text{ mL limón/contenedor}$$

Cálculo 21. Cantidad de bobinas, viruta y capas obtenidas.

$$\frac{6.4200 \text{ kg fibra}}{1 \text{ día}} * \frac{13 \text{ bobinas}}{0.7133 \text{ kg fibra}} = 117 \frac{\text{bobinas}}{1 \text{ día}}$$

$$\frac{117 \text{ bobinas}}{1 \text{ día}} * \frac{67 \text{ capas}}{13 \text{ bobinas}} = 606 \text{ capas/día}$$

$$\frac{0.045 \text{ kg viruta}}{1 \text{ tronco}} * \frac{9 \text{ troncos}}{1 \text{ día}} = 0.4050 \text{ kg viruta/día}$$

Cálculo 22. Determinación de la viruta necesaria para una producción de toallas sanitarias y cantidad de toallas sanitarias obtenidas.

$$\frac{606 \text{ capas}}{1 \text{ día}} * \frac{1 \text{ toalla sanitaria}}{5 \text{ capas}} = 121 \text{ toallas s./día}$$

$$\frac{121 \text{ toallas s.}}{1 \text{ día}} * \frac{0.003 \text{ kg viruta}}{1 \text{ toalla s.}} = 0.3618 \text{ kg viruta/día}$$

Cálculo 23. Energía eléctrica necesaria y su costo mensual para el proceso en planta artesanal.

$$\frac{1 \text{ HP}}{1 \text{ molino de rodillos}} * \frac{0.7457 \text{ kW}}{1 \text{ HP}} = 0.7457 \text{ kW}$$

$$0.7457 \text{ kW} * \frac{1 \text{ h}}{\text{día}} = \frac{0.7457 \text{ kWh}}{1 \text{ día}} * \frac{28 \text{ días}}{1 \text{ mes}} = 20.8796 \text{ kWh/mes}$$

$$20.8796 \frac{\text{kWh}}{\text{mes}} * \frac{Q1.18}{1 \text{ kWh}} = Q24.6379 / \text{mes}$$

\*Se realizó el mismo cálculo para el Segundo molino de rodillos, la licuadora industrial y la máquina de coser y luego se adicionó el costo de cada equipo para obtener el costo total por energía eléctrica. El costo por kWh de la energía eléctrica por la Finca Primavera, Escuintla.

Cálculo 24. Cantidad total de agua utilizada y su costo mensual.

$$96.30 \text{ kg (suavización)} + 385.20 \text{ kg (obtención de pulpa)} = 481.50 \frac{\text{kg agua}}{\text{día}}$$

$$481.50 \frac{\text{kg agua}}{\text{día}} * \frac{28 \text{ días}}{1 \text{ mes}} * \frac{Q0.0024}{1 \text{ kg agua}} = Q32.26/\text{mes}$$

\*El costo de un kilogramo de agua se obtuvo con la densidad del agua, a la temperatura promedio del departamento de Escuintla (30.5°), y el costo del agua en la finca Primavera por metro cúbico (Q2.42/m<sup>3</sup>).

Cálculo 25. Costo mensual de otras materias primas.

$$\frac{867.0257 \text{ mL zumo}}{\text{día}} * \frac{2 \text{ limones}}{120 \text{ mL zumo}} = \frac{14.4504}{\text{día}} \approx \frac{15 \text{ limones}}{\text{día}}$$

$$\frac{15 \text{ limones}}{1 \text{ día}} * \frac{28 \text{ días}}{1 \text{ mes}} = \frac{420 \text{ limones}}{1 \text{ mes}} * \frac{Q0.28}{1 \text{ limón}} = Q117.60/\text{mes}$$

$$\frac{9.63 \text{ kg cal}}{1 \text{ día}} * \frac{28 \text{ días}}{1 \text{ mes}} = \frac{269.64 \text{ kg cal}}{1 \text{ mes}} * \frac{1 \text{ saco cal}}{18.1437 \text{ kg}} = \frac{14.8614 \text{ sacos cal}}{1 \text{ mes}} \approx \frac{15 \text{ sacos cal}}{1 \text{ mes}}$$

$$\frac{15 \text{ sacos cal}}{1 \text{ mes}} * \frac{Q32.50}{1 \text{ saco cal}} = Q487.50/\text{mes}$$

$$\frac{3.8277 \text{ yardas hilo}}{1 \text{ toalla s.}} * \frac{121 \text{ toallas s.}}{1 \text{ día}} * \frac{28 \text{ días}}{1 \text{ mes}} = \frac{12,925.3773 \text{ yardas hilo}}{\text{mes}}$$

$$\frac{12,925.3773 \text{ yardas hilo}}{\text{mes}} * \frac{1 \text{ cono}}{500 \text{ yardas hilo}} = \frac{25.8507 \text{ conos}}{\text{mes}} \approx \frac{26 \text{ conos}}{\text{mes}} * \frac{Q5.00}{1 \text{ cono}}$$

$$= Q130.00/\text{mes}$$

Cálculo 26. Costo unitario de la toalla sanitaria biodegradable para el proceso en planta artesanal.

$$Cu = \frac{Cp}{u}$$

$$Cu = \frac{Q 834.54 / \text{mes}}{3,377 \text{ unidades/mes}} = Q0.25/\text{unidad}$$

\*En donde Cu es el costo unitario de la toalla sanitaria biodegradable, Cp el costo del proceso mensual y u las unidades producidas en un mes.

Proceso de producción industrial:

Cálculo 27. Determinación de la cantidad de fibra teórica obtenida por tallo de la planta de banano.

$$Mc = Mt - Mct$$

$$Mc = 38.7331 \text{ kg} - 11.3467 \text{ kg} = 27.3864 \text{ kg}$$

$$\frac{27.3864 \text{ kg corteza}}{1 \text{ tallo}} * \frac{31.40 \text{ kg fibra}}{100 \text{ kg corteza}} = 8.5993 \text{ kg fibra/tallo}$$

\*En donde Mc es la masa de corteza restante, Mt la masa promedio experimental del tallo y Mct la masa promedio experimental del centro del tallo.

Cálculo 28. Obtención de la cantidad de fibra extraída.

$$\frac{2,000 \text{ kg corteza}}{1 \text{ hora}} * \frac{1 \text{ tallo}}{27.3864 \text{ kg corteza}} = \frac{73.00 \text{ tallos}}{1 \text{ hora}} * \frac{8 \text{ horas}}{1 \text{ día}} = 584 \text{ tallos/d}$$

$$\frac{584 \text{ tallos}}{1 \text{ día}} * \frac{8.5993 \text{ kg fibra}}{1 \text{ tallo}} = \frac{5,024.00 \text{ kg fibra}}{1 \text{ día}} = 5.02 \text{ t fibra/d}$$

Cálculo 29. Determinación de la cantidad de óxido de calcio y agua necesarios para la suavización de la fibra.

$$\frac{5.02 \text{ t fibra}}{1 \text{ día}} * \frac{15 \text{ t agua}}{1 \text{ t fibra}} = \frac{75.36 \text{ t agua}}{1 \text{ día}}$$

$$\frac{75.36 \text{ t agua}}{1 \text{ día}} * \frac{10 \text{ t cal}}{100 \text{ t agua}} = \frac{7.54 \text{ t cal}}{1 \text{ día}}$$

Cálculo 30. Cantidad de zumo de limón criollo y agua utilizada en el despulpador.

$$\frac{5.02 \text{ t fibra}}{1 \text{ día}} * \frac{100 \text{ t agua}}{10 \text{ t fibra}} = \frac{50.24 \text{ t agua}}{1 \text{ día}}$$

$$\frac{50.24 \text{ t agua}}{1 \text{ día}} * \frac{1000 \text{ kg agua}}{1 \text{ t agua}} * \frac{2.2508 \text{ mL zumo}}{1 \text{ kg agua}} * \frac{1 \text{ L}}{1000 \text{ mL}} = 113.08 \text{ L zumo/día}$$

Cálculo 31. Obtención de la cantidad de papel, capas y viruta en la máquina de papel.

$$\frac{5.02 \text{ t fibra}}{1 \text{ día}} * \frac{1000 \text{ kg fibra}}{1 \text{ t fibra}} * \frac{0.1637 \text{ kg papel}}{1 \text{ kg fibra}} = \frac{822.43 \text{ kg papel}}{1 \text{ día}}$$

$$\frac{5.02 \text{ t fibra}}{1 \text{ día}} * \frac{1000 \text{ kg fibra}}{1 \text{ t fibra}} * \frac{94 \text{ capas}}{1 \text{ kg fibra}} = \frac{472,256 \text{ capas}}{1 \text{ día}}$$

$$\frac{5.02 \text{ t fibra}}{1 \text{ día}} * \frac{1000 \text{ kg fibra}}{1 \text{ t fibra}} * \frac{0.0631 \text{ kg viruta}}{1 \text{ kg fibra}} = \frac{317.01 \text{ kg viruta}}{1 \text{ día}}$$

Cálculo 32. Cantidad de toallas sanitarias producidas en un día.

$$\frac{472,256 \text{ capas}}{1 \text{ día}} * \frac{1 \text{ toalla sanitaria}}{5 \text{ capas}} = \frac{94,451 \text{ toallas s.}}{1 \text{ día}}$$

$$\frac{94,451 \text{ toallas s.}}{1 \text{ día}} * \frac{0.003 \text{ kg viruta}}{1 \text{ toalla s.}} = \frac{283.35 \text{ kg viruta}}{1 \text{ día}}$$

$$\frac{94,451 \text{ toallas s.}}{1 \text{ día}} * \frac{3.8277 \text{ yardas hilo}}{1 \text{ toalla s.}} = \frac{361,530.86 \text{ yardas hilo}}{1 \text{ día}}$$

Cálculo 33. Dimensiones del tanque agitado utilizado en la suavización.

$$V = \frac{\pi}{4} * d^2 h_1$$

$$d = h_1, V_s = \frac{\pi}{4} * d^3$$

$$V_s = 75,360 \text{ kg} * \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ kg}} = \frac{75.36 \text{ m}^3}{3 \text{ lotes}} = 25.12 \text{ m}^3/\text{lote}$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{4 * V_s}{\pi}} = \sqrt[3]{\frac{4 * 25.12 \text{ m}^3}{\pi}} = 3.17 \text{ m}$$

$$V_r = \frac{\pi}{4} * d^2 h_2 = \frac{\pi}{4} * (3.17 \text{ m})^2 * 3.81 \text{ m} = 30.15$$

$$D_a = \frac{D_t}{3} = \frac{3.17 \text{ m}}{3} = 1.06 \text{ m}$$

$$W = \frac{D_a}{5} = \frac{1.06 \text{ m}}{5} = 0.21 \text{ m}$$

$$L = \frac{D_a}{4} = \frac{1.06 \text{ m}}{4} = 0.26 \text{ m}$$

$$J = \frac{D_t}{12} = \frac{3.17 \text{ m}}{12} = 0.26 \text{ m}$$

\*En donde  $V_s$  es el volumen que ocupa el líquido o solución,  $V_r$  el volumen real del tanque tomando en cuenta un 20% extra,  $d$  y  $D_t$  es el diámetro del tanque,  $h_1$  la altura de la solución,  $h_2$  la altura del tanque,  $D_a$  el diámetro del rodete,  $W$  la altura de las palas del rodete,  $L$  la base de las palas del rodete y  $J$  el ancho de los deflectores. Las bases de diseño se tomaron del diseño estándar de una turbina (McCabe *et al*, 2007).

## H. Análisis de error

Cálculo No. 34 : Determinación de media aritmética

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{N}$$

**En donde:**

**$N = \text{número total de datos analizados}$**

Como ejemplo se tomó los datos de longitudes registradas en el Cuadro 42 para la ejemplificación de media aritmética de longitud.

$$\bar{L} = \frac{\sum_{i=1}^{16} L_i}{16}$$

$$172.81 \pm 0.02 \text{ cm}$$

Cálculo No. 35 : Propagación de error en sumas y restas

$$S_y = \sqrt{S_a^2 + S_b^2 + S_c^2 + \dots + S_n^2}$$

**En donde:**

**$S_a^2 + S_b^2 + S_c^2 + \dots + S_n^2 = \text{incertidumbre en la medición de los datos } a, b, c, \dots n.$**

**$S_y = \text{incertidumbre de la operación aritmética.}$**

Como ejemplo se tomaron los datos de las longitudes de los pseudotallos presentados en el Cuadro 42

$$S_y = \sqrt{0.0001_1^2 + 0.0001_2^2 + 0.0001_3^2 + \dots + 0.0001_{16}^2}$$

$$S_y = \pm 0.02 \text{ cm}$$

Cálculo No 36: Propagación de error en multiplicaciones y divisiones.

$$S_y = Y \sqrt{\frac{S_a^2}{a^2} + \frac{S_b^2}{b^2} + \frac{S_c^2}{c^2} + \dots + \frac{S_n^2}{n^2}}$$

**En donde  $a, b, c, \dots n.$  : valores leído en las mediciones**

**$Y = \text{Resultado de la operación}$**

Como ejemplo se tomaron los datos de la determinación de densidad de la fibra extraída del centro del pseudotallo No. 1, muestra No. 1; ver Cuadro No. 68

$$S_y = 0.5003 \text{ g/mL} \sqrt{\frac{0.71^2}{1^2} + \frac{0.0001^2}{0.5003^2}}$$

$$S_y = \pm 0.3538 \text{ g/mL}$$

## I. Datos de placa

Cuadro 200. Equipo utilizado en la metodología para la elaboración de pliegos de papel a base de fibra de banano en la Universidad del Valle de Guatemala

Equipo	Marca	Especificaciones
Resistencia eléctrica	Thermo Scientific	Modelo: HP88857100 100-200 volt 13 amperios 50/60 Hz
Licuada Industrial	Skymesen	Modelo: LAR-15 Capacidad: 25 litros RPM: 3,500 Motor: ¾ Hp Material: acero inoxidable 110 volt 60 Hz 3320 RPM
Molino de rodillos	Telemecanique	Material: acero inoxidable Diámetro de rodillos: 10 mm Largo: 45 cm Motor: ¾ Hp Marca: Syncrogear 230 volts 3.4 amperios 1745 RPM
Molino de rodillos (trapiche)	Vencedora, Maqtron	Modelo: 721 Turbo Material: acero inoxidable Diámetro de rodillos: 4 cm Largo: 5.5 cm Motor: 2 Hp Marca: Baldor Reliance 115 volts 23 amperios 1725 RPM.
Potenciómetro	pHTestr 20	Waterproff Modelo: double junction Rango: 0.0-14.0

Cuadro 201. Equipo cotizado para la planta piloto.

Equipo	Marca	Especificaciones
Resistencia eléctrica	Taurus	Modelo: 15010 doble Kw: 1.5
Licadora Industrial	Becker	Modelo: LTI-25 Capacidad: 25 litros RPM: 3,500 Motor: ¼ Hp Material: acero inoxidable 750 watts 7 amperios.
Molino de rodillos	Mainox	Material: acero inoxidable Diámetro de rodillos: 75 mm Largo: 18 cm Motor: 1 Hp reductor eléctrico monofásico Marca: Siemens 220 volts 4.5 amperios

## J. Cotizaciones

Ilustración 45. Cotización de los cuchillos multiuso para el proceso en planta artesanal .

**siman.com**

BUSCAR...

---

[.LOS](#) [NIÑOS](#) [BELLEZA](#) [TECNOLOGÍA](#) [ELECTRODOMÉSTICOS](#) [MUEBLES](#) [HOGAR](#) [DEPORTES](#) [CLUBES](#) [CERTIFICADOS DE REGALO](#)

---

LLLO MULTIUSO



### Cuchillo Multiuso

SKU# 470606100006

Comentar

[f](#)
[t](#)
[p](#)
[e](#)
[+](#)
0

Útil cuchillo de cocina multiusos hecho de acero inoxidable alemán, el cual es templada al hielo ,medidas aproximadas de 15 cm.

✓ En existencia

Q 165.00

Cantidad:  Agregar a Mi Carretilla

Ilustración 46. Cotización del molino de rodillos para el proceso en planta artesanal .

TALLERES HERNANDEZ		13 Avenida 4-27 Zona 1 • Tel./Fax 2220-2635 Tels. 2251-5512 • 2230-3403 • 2230-3387 talleres.hernandez@yahoo.com talleres.hernandez.gt@gmail.com		COTIZACION	
mecánica industrial				Nº 02845	
Fabricación, reparación y mantenimiento de maquinaria industrial. Toda clase de trabajos para la industria farmacéutica y alimenticia. Especialidad en trabajos de acero inoxidable.				FECHA	
				27/09/2016	
CLIENTE					
Nombre del Cliente	UNIVERSIDAD DEL VALLE GUATEMALA				
Atención a	MARIA FERNANDA MENDIZABAL				
Dirección		Tel.		Tel./Fax	
Forma de pago		Vigencia de esta cotización	15 DIAS		
CONCEPTO					
FABRICACION DE MOLINO DE RODILLOS: LARGO DE RODILLO 0.52M DIAMETRO DE RODILLO 0.1M ANCHO DE SOPORTE 0.82M ALTO DE SOPORTE 0.7 POTENCIA DE MOTOR: TRIFASICO 1 HP MARCA BAUER DE FABRICACION ALEMANA , TODA FABRICADA DE ACERO INOXIDABLE, CON MESA Y RODOS					Q22,600.00
<p><b>Talleres Hernández</b> 13 avenida 4-27 zona 1 Cheques emitirlos a nombre de: <b>Talleres Hernández</b> Nit: 295579-2 <b>Sujetos a pagos trimestrales</b></p> <p>Esperando que la presente satisfaga su necesidad de inversión y en espera de una respuesta positiva. Quedamos de ustedes.</p> <p>Atentamente,</p>					
OBSERVACIONES LOS PRECIOS YA INCLUYEN I.V.A DE SER APROBADA LA PRESENTE COTIZACION. FAVOR REMITIRLA FIRMADA, SELLADA CON FECHA DE APROBACION Y ORDEN DE COMPRA.				FECHA DE APROBADO	
COTIZACION AUTORIZADA POR			COTIZACION AUTORIZADA POR EL CLIENTE		
Nombre	Daniel Hernández		Nombre		
	Talleres Hernández				
FIRMA DE AUTORIZADO			ACEPTADO - CLIENTE		
<small>ORIGINAL (B) Cliente • DUPLICADO (A) Contabilidad • TRIPLICADO (V) Archivo reg. NIFESISA • 2251-6480 • Ref. 16.02.0110 • jr •</small>					

Ilustración 47. Cotización de cuchillos de acero inoxidable obtenida en Novex para el proceso en planta piloto

**TU FERRETERÍA EN LÍNEA**

INICIO - HOGAR - COCINA - IMPLEMENTOS COCINA - SET DE 4 CUCHILLOS



**SET DE 4 CUCHILLOS**

---

SKU#54755  
 Marca: CHEF CRAFT  
 Modelo: 20979 CHEF CRAFT

**Q23.00 / UNI**

★★★★★

¡Sé el primero en evaluar este producto!  
 ^ Requiere inicio de sesión para poder calificar producto.

[Compartir 0](#)

Cantidad:  [Agregar al carro](#) [Regalo](#)

**DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO**

- SET DE 4 CUCHILOS
- MATERIAL: ACERO INOXIDABLE

Ilustración 48. Cotización de tabla de madera obtenida en Siman para el proceso en planta piloto

INICIO > TABLA BAMBÚ PARA PICAR SURTIDO 12X16



## Tabla Bambú para Picar Surtido 12x16

SKU# 100501335

Comentar



Practica y útil tabla para picar en forma rectangular HDS.

✓ En existencia

Q 89.00

Cantidad:  [Agregar a Mi Carretila](#)

♥ [Agregar a Mi Lista](#)

Ilustración 49. Cotización de guantes obtenida en Novex para el proceso en planta piloto

**TU FERRETERÍA EN LÍNEA**

INICIO - FERRETERÍA - EQUIPO DE SEGURIDAD - GUANTES - GUANTE NITRILO FLOCADO



**GUANTE NITRILO FLOCADO**

SKU#68134

Marca:

Modelo: G730L

**Q19.00 / PAR**

★★★★★

¡Sé el primero en evaluar este producto!  
\* Requiere Inicio de sesión para poder calificar producto.

[Compartir 0](#)

Cantidad:  [Agregar al carro](#) 

Ilustración 50. Cotización de olla de acero inoxidable obtenida en OLX para el proceso en planta piloto

**OLLA DE ACERO INOXIDABLE 15 gal.**

Publicado hace 4 días

📍 Ciudad de Guatemala, Guatemala

(Negociable) **Q2 500**



1 / 7

**OLVentas**

📞 3407\*\*\*\* [Mostrar número](#)

Nombre

Dirección de email

Teléfono de contacto (opcional)

Mensaje

Enviar mensaje

Al hacer click en "enviar mensaje" aceptas nuestros [Términos y condiciones.](#)

**Consejos de seguridad para compradores**

- ✓ Intenta reunirte en un sitio público y seguro
- ✓ Revisa el artículo antes de comprarlo

Ilustración 51. Cotización de la olla para el proceso en planta artesanal .



Buenas tardes le saluda Jose Avendaño de prominsa le adjunto imágenes de ollas y los precios de las que se ajustan a lo que busca.

Tenemos dos ollas en oferta

- Olla zafiro 50 Q.370.00
- Olla Zafiro 40 Q.220.00

Ilustración 52. Cotización de cubeta multiusos obtenida en Novex para el proceso en planta piloto

**TU FERRETERÍA EN LÍNEA**

INICIO - PINTURAS - VARIOS - OTROS - CUBETA PLÁSTICA MULTIUSOS



**CUBETA PLÁSTICA MULTIUSOS**

---

SKU#24205  
 Marca: ENCORE PLASTICS  
 Modelo: 50640- 5GAL-PAIL

**Q50.00 /UNI**

★★★★★  
 ¡Sé el primero en evaluar este producto!  
 \* Requiere Inicio de sesión para poder calificar producto.

[Compartir](#) 0

Cantidad:  Agregar al carro 📺

**DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO**

- CUBETA PLÁSTICA MULTIUSOS
- CAPACIDAD 5 GALONES

Ilustración 53. Cotización de paleta para altas temperaturas obtenida en Siman para el proceso en planta piloto

INICIO > PALETA FRITO



### Paleta Frito

SKU# 100434316

Comentar



útil y practica paleta para frito, para que puedas cocinar de una manera mucho mas fácil.  
 Marca: Pedrini

✓ En existencia

Q 39.00

Cantidad:  [Agregar a Mi Carretilla](#)

♥ [Agregar a Mi Lista](#)

🔍 [Comparar](#)

Ilustración 54. Cotización de tijeras obtenida en Novex para el proceso en planta piloto

### TU FERRETERÍA EN LÍNEA

INICIO - HERRAMIENTAS MANUALES - HERRAMIENTAS DE CORTE - TIJERA PARA HOJALATERO - TIJERA PARA HOJALATERO IZQUIERDA



#### TIJERA PARA HOJALATERO IZQUIERDA

SKU#13604

Marca: STANLEY

Modelo: 04-14-862 STANLEY

Q100.00 / UNI



¡Sé el primero en evaluar este producto!  
 \* Requiere Inicio de sesión para poder calificar producto.

[Compartir](#)

Cantidad:  [Agregar al carro](#)

#### DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

- TIJERA PARA HOJALATERO IZQUIERDA
- PARA ALUMINIO, COBRE, CARTÓN Y CUERO
- BORDES DE FILO DENTADO PARA EVITAR EL DESLIZAMIENTO DE MATERIALES AL CORTAR

Ilustración 55. Cotización de resistencia eléctrica obtenida en Vivendo para el proceso en planta piloto



Código: 80.51.0004  
-----  
Marca: TAURUS  
-----  
Modelo: FONAX DUO  
-----  
Color: BIANCO  
-----

Cantidad:  
1  
Agregar a Pedido

★ Agregar a mis favoritos

Precio:  
GTQ 199.00

▼ Descripción

**HORNILLA ELÉCTRICA DOBLE  
15010**

- 2 hornillas en espiral
- Termostatos independientes de 5 temperaturas
- Indicadores luminosos de funcionamiento independientes
- 1500 Watts

Ilustración 56. Cotización de licuadora industrial obtenida en Food Machine para el proceso en planta piloto



Guatemala, 17 de agosto de 2016

Sra.  
 María José Ramos,  
 Guatemala,  
 Teléfono. 5551-9005

Estimada Señora Ramos,

Para Food Machine Latinoamérica, es un placer dirigirse a usted para agradecer su interés en nuestro equipo para la industria alimenticia de la más alta calidad, cumpliendo con nuestra misión de *Satisfacción Total al cliente* a través de la innovación y tecnología a precios accesibles con servicio de asistencia técnica íntegro, con asesoría directa de *nuestros ingenieros de la Fabrica Metalúrgica Venancio*.

A continuación, detallamos la información solicitada,

**Propuesta No. 1**  
**Licuadora Industrial de 25 Lts.**

**Modelo LTI-25**

- 3,500 rpm
- Motor de ¼
- Marca Becker
- Voltaje Bi-Volt
- Capacidad de 25 litros.
- Con vaso de Acero Inoxidable basculante
- Tritura alimentos con adición de líquidos

Precio Guatemala	Q11,999.99
Precio Nicaragua S/ IVA	\$1,358.69
Precio El Salvador S/IVA	\$1.382.74



Ilustración 57. Cotización de la estufa de una hornilla para el proceso en planta artesanal .





Propuesta No. 6  
Estufa Extra de 1 Hornilla

Modelo E1PD

- Marca Venancio
- Tecnología brasileña
- 1 quemador doble
- Funcionamiento a gas
- Construcción en hierro fundido
- Patas y entrepaño de Acero Carbono
- Totalmente desmontable para fácil limpieza



Precio Guatemala	Q1,799.99
Precio Nicaragua S/ IVA	\$203.80
Precio El Salvador S/IVA	\$207.41

Ilustración 58. Cotización de la espátula de madera y silicón para el proceso en planta artesanal .



ferreteria

[Compra en línea](#)
[Visita nuestra Fan Page](#)
[Ayuda](#)
[SUCURSALES Y CONTACTO](#)

ea Directa Mayoristas: 2382-4646 | PBX:2382-4600 | 3 c

erias

triz

g y Pesca

ria

os

ría

ientas

ción y Ventilacion

ría

ia

as y Granja

les de Construcción

s

a

[Inicio](#) > [Hogar](#) > ESPATULA DE MADERA Y SILICON

[Inicio](#) > [Hogar](#) > [Cocina](#) > ESPATULA DE MADERA Y SILICON

[Inicio](#) > [Accesorios de Cocina](#) > ESPATULA DE MADERA Y SILICON

[Inicio](#) > [Utensilios de cocina](#) > ESPATULA DE MADERA Y SILICON

### ESPATULA DE MADERA Y SILICON



Precio: **Q20.00**

SKU: 3002D

Peso: 1.00 LBS

Envío: Calculado en el pago

Quantity:  [add to](#)

Recomendar
Sé el primero de tus amigos en reco

Ilustración 59. Cotización de bolsas negras marca Kanguro para el proceso en planta artesanal .



**Distribuidora  
ALCANCE**  
Suministros Institucionales  
una opción inteligente

## Servicio a Domicilio

Lun-Vier 08:00 - 05:00  
Sabado: 08:00 - 12:00  
2218-3333  
www.distribuidoraalcance.com  
servicioalcliente@distribuidoraalcance.com  
distribuidoraalcance




**Nuestros Productos**

- Alimentos
- Licores
- Desechables
- Papel
- Limpieza
- Herramientas de Limpieza
- Bolsas
- Farmacia
- Librería
- Mascotas
- Ferretería

[Inicio](#) | [Quiénes Somos](#) | [Artículos](#) | [Oferta Mensual](#) | [Contacto](#)



**Bolsa Kanguro Grande**

**Código:** 02kang0177

**Precio:** GTQ 13.30

**Descripción:** Bolsas para basura grandes, capacidad para 15 galones. Contiene 10 unidades.  
Dimensiones: 76 cms x 61 cms ó 30" x 24"

Ilustración 60. Cotización del termómetro de vidrio para el proceso en planta artesanal .



Guatemala, 07 de Septiembre de 2018

Cotización MB-18-09-015

Señores  
Universidad del Valle de Guatemala  
Presente

Atención: Licda. María Fernanda Mendizábal

Estimada Licenciada:

Reciba un cordial saludo de parte de DILAB. En respuesta a su solicitud, sometemos a su consideración la siguiente propuesta, esperamos poder contribuir a la calidad de sus resultados y facilitarle el trabajo diario.


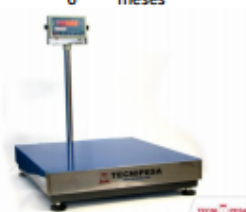
No.	Código DILAB	Cantidad	Descripción	Unitario	Total
1	BEL-608002500	1	 Termómetro de vidrio, líquido orgánico rojo, -20 a 150°C. *	Q84.50	Q84.50
				<b>Total</b>	<b>Q84.50</b>
Son: Ochenta y cuatro quetzales con 50/100.					
* Tiempo de entrega: Inmediata, sujeta a existencias					

Ilustración 61. Cotización de la balanza para el proceso en planta artesanal .



Lugar y fecha:	Guatemala 29 de Septiembre de 2016
Atención:	FERNANDA MENDIZABAL
Dirección:	
Teléfono:	

Descripción del producto o servicio:

Cantidad	Descripción	Precio de unidad
1	<p><b>Báscula electrónica KW XXL</b></p> <p>Codigo KW11                      Marca Tecnipesa                      Capacidad 600 kilogramos                      sensibilidad 100 gramos                      ancho 70 centímetros                      alto 99 centímetros                      fondo 92 centímetros                      colores azul                      material hierro                      fabricacion talwan                      garantía 6 meses</p> 	Q4,300.00
Total:		Q4,300.00

Condiciones:

Ordenes de compra a nombre de: TÉCNICOS EN PESAS, S.A.

Forma de pago:	Contado: <input checked="" type="checkbox"/>	Credito: <input type="checkbox"/>	Anticipo: <input type="checkbox"/>
Despacho:	Inmediato: <input checked="" type="checkbox"/>	Tiempo: <input type="checkbox"/>	meses

Vendedor:	CLAUDIA GARCIA	Tel:	23341650
Correo electrónico	<a href="mailto:tecnipesa.net">tecnipesa.net</a>		
Dirección:	2 calle 5-50 zona 9		

Ilustración 62. Cotización de un set de tijeras inoxidable para el proceso en planta artesanal .

**CEFESA**  
ferretería

Compra en línea | Visita nuestra Fan Page | Ayuda | SUCURSALES Y CONTACTO

Tea Directa Mayoristas: 2382-4646 | PBX:2382-4600 | 3 calle 5-4

Inicio > Jardinería > SET DE TIJERAS INOXIDABLES 5 UNIDADES  
 Inicio > Jardinería > Herramientas para corte > SET DE TIJERAS INOXIDABLES 5 UNIDADES  
 Inicio > Tijeras > SET DE TIJERAS INOXIDABLES 5 UNIDADES

**SET DE TIJERAS INOXIDABLES 5 UNIDADES**



Precio: **Q75.00**  
 SKU: 90450  
 Marca: IIII  
 Peso: 1.00 LBS  
 Envío: Calculado en el pago  
 Quantity:  [add to cart](#)

[Recomendar](#) Sé el primero de tus amigos en recomendar esto.

Ilustración 63. Cotización de una caja almacenadora extra larga para el proceso en planta artesanal .

**NOVEX** Rastrear pedido | Publicaciones | Servicios | Sucursales  
 Iniciar sesión | Crear cuenta | Mi lista  Q0.00

Comprar por Departamento sku, nombre, marca [Buscar](#)

**TU FERRETERÍA EN LÍNEA**


INICIO - ORGANIZACIÓN - CAJAS ORGANIZADORAS - ALMACENADORA EXTRA LARGA

**ALMACENADORA EXTRA LARGA**

SKU#57514  
 Marca: RUBBERMAID  
 Modelo: 2547CPDIM RUBBERMAID

**Q350.00 / UNI**

★★★★★  
 ¡Sé el primero en evaluar este producto!  
 \* Requiere Inicio de sesión para poder calificar producto.

[Compartir](#)  

Cantidad:  [Agregar al carro](#) 

**DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO**

- ALMACENADORA EXTRA LARGA
- 40 GALONES
- RECIPIENTE ESTÁ HECHO DE UN PLÁSTICO DE POLIETILENO RESISTENTE
- CON ESPACIO PARA OBJETOS VOLUMINOSOS

Ilustración 64. Cotización del pH-metro para el proceso en planta artesanal .

**Milwaukee Instruments pH600AQ pH Tester With 1 Point Manual Calibration**

pH600 se suministra completo con tapa protectora, destornillador de calibración, pilas e instrucciones  
 Tester de pH con calibración manual 1 punto  
 Medio Ambiente: 0 a 50 grados C, máx humedad relativa del 95 por ciento  
 3 x 1,5 V pilas alcalinas, 700 horas de uso  
 Garantía de 30 días solamente, mide la longitud de 150 mm por 30 mm de ancho por 24 mm de altura

***¡Entrega inmediata!***

**Producto en oferta**  
 Antes: Q289  
 Ahora:  
 Precio: Q269

Cantidad

 **Comprar**



Ilustración 65. Cotización del beaker de 1000 mL para el proceso en planta artesanal .



BEAKER 1000ML GRADUADO PP

BEL-BEAKER 1000ML GRADUADO PP

Cantidad

Q 85.00

Agregar

Ilustración 66. Cotización máquina de coser eléctrica para el proceso en planta artesanal .

la curacao *para vivir mejor*

CONTACTÁNOS INICIAR SESIÓN | REGÍSTRATE

GUATEMALA • GTQ


SERVICIO AL CLIENTE 1800.222.0008 1866.205.4040 (USA) LUN. A SAB. 7AM A 9PM DOM. 10AM A 7PM

MARCAS EXCLUSIVAS

la curacaonline.com

PRODUCTOS

PRECIO > BROTHER MÁQUINA DE COSER / BM2800 / ELÉCTRICA



FacilitOferta

Brother  
Brother Máquina de coser / BM2800 / Eléctrica

**GTQ1,199.00**

Comentarios: *Me gusta mucho* (0)  
Se el primero en comentar este producto

UPC: 412214200006

Cant.:

AGREGAR A CARRETELLA

AÑADIR A MI LISTA COMPARAR

Métodos de Envío Servicio Técnico

VISA MasterCard PayPal

Detalles	Descripción	Comentarios	Garantía Adicional
Precio			GTQ1,199.00
Marca			Brother
Modelo			BM2800
Garantía			12 meses
Tipo de operación			Máquina eléctrica
Número de puntadas incorporadas			27
Número de funciones de puntadas			53
Selector de largo y ancho de puntada			Si
Luz			Si
Sistema automático de bobinado			No
Ojal automático			1 paso
Palanca de retroceso			Si
Brazo libre			Si
Ancho			45 cm
Profundidad			19 cm
Altura total			28 cm

Ilustración 67. Cotización de pila obtenida en Novex para el proceso en planta piloto

TU FERRETERÍA EN LÍNEA

INICIO - PLOMERÍA - PILAS - PILAS Y LAVARROPAS - PILA ROTOTEC DOBLE



**PILA ROTOTEC DOBLE**

SKU#65542  
Marca: ROTOTEC

**Q1,175.00 / UNI**

★★★★★

¡Sé el primero en evaluar este producto!  
\* Requiere Inicio de sesión para poder calificar producto.

[Compartir 0](#)

Cantidad:  [Agregar al carro](#) 

**DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO**

- NO GENERAN MALOS OLORES, NI LA PROLIFERACIÓN DE BACTERIAS
- POR SU ESTABILIDAD NO NECESITAN FUNDICIÓN DE CONCRETO PARA SU FUNCIONAMIENTO
- RESISTENTES A LA INTERRUPCIÓN DE SERVICIO

Ilustración 68. Cotización de óxido de calcio obtenida en Cefesa

Mi Cuenta | Estatus de Ordenes



**CEFESA**

ferreteria

[Inicio](#)
[Compra en línea](#)
[Visita nuestra Fan Page](#)
[Ayuda](#)
[SUCURSALES Y CONTACTO](#)

línea Directa Mayoristas: 2382-4646 | PBX:2382-4600 | 3 calle 5-43 zona  
ventas@cefesa.com

**Categorías**

- Motoriz
- os
- mping y Pesca
- rajería
- tricos
- reteria
- ramientas
- ar
- inación y Ventilación
- linería
- pieza
- cotas y Granja
- eriales de Construcción
- bles
- ura
- nería
- Jucos de Temporada
- illería

**Productos**

ros

Inicio > Materiales de Construcción > CAL HIDRATADA HORCALSA

**CAL HIDRATADA HORCALSA**




Precio: **Q32.50**

SKU: SC01

Marca: HORCALSA

Peso: 40.00 LBS

Envío: Calculado en el pago

Quantity:  [add to cart](#)

[Recomendar](#) Sé el primero de tus amigos en recomendar esto.

[Me gusta 0](#)
[Twitter](#)
[Pinterest](#)
[Share](#)
7

Ilustración 69. Cotización de hidróxido de sodio obtenida en Quimiprova



### PROFORMA NO.180816

Guatemala, 18 de agosto de 2016

Sres.  
Contrasa

ATENCION:  
Maria Jose Ramos

Estimada Maria Jose Ramos , agradeciendo su preferencia, por medio de la presente ofrecemos nuestra cotización para:

PRODUCTO	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	SUBTOTAL
Hidroxido de sodio	Libra	Q.7.00	Q.7.00
Hidroxido de sodio	25 kilos	Q.7.00	Q.175.00

Ilustración 70. Cotización de molino de dos rodillos de acero inoxidable con motor de 1 Hp por Mainox para el proceso en planta piloto



[www.mainoxgf.com](http://www.mainoxgf.com)

**Cotización No. 00792**  
Guatemala, agosto 18 de 2016

MARIA JOSE RAMOS

Estimados señores:  
Con el afán de brindar un servicio integral que satisfaga las necesidades de nuestros clientes, y dar una respuesta eficaz a las exigencias más competitivas del mercado, presentamos la siguiente propuesta de valor para su consideración, que esperamos supere sus expectativas:

*Proyecto. MAQUINA TABLEADORA FRANCESA*

Cantidad	Descripción	Precio unitario	Monto Q.
1	Fabricación de molino de rodillos hecho totalmente en acero inoxidable Diámetro de rodillos 75mm. largo 18 cm largo. Moto reductor eléctrico monofásico marca siemens de 1 hp Soldaduras argón acabados sanitarios		Q18,500.00
<b>Precio total.</b>		<b>Q18,500.00</b>	

**TIEMPO DE ENTREGA. Una semana**

**FORMA DE PAGO. 60% anticipo, 40% contra entrega en nuestras instalaciones.**

**ESTE COSTO NO INCLUYE IVA.**



Atentamente,



**Cesar Pérez**  
Ejecutivo de Cuenta  
[mainoxguatemala@gmail.com](mailto:mainoxguatemala@gmail.com)  
Cel. +502 4182 3318



Ilustración 71. Cotización de balanza obtenida en Novex para el proceso en planta piloto



**NOVEX** Rastrear pedido Publicaciones Sucursales  
Iniciar sesión | Crear cuenta Mi lista Q0.00

Comprar por Departamento sku, nombre, marca **Buscar**

**TU FERRETERÍA EN LÍNEA**

INICIO - FERRETERÍA - MISCELANEOS - BASCULAS - PESA DE MESA 40LBS

**PESA DE MESA 40LBS**

SKU#16687  
Marca:  
Modelo: PESAMESA40LBS

**Q645.00 / UNI**

★★★★★  
¡Sé el primero en evaluar este producto!  
\* Requiere Inicio de sesión para poder calificar producto.

Compartir 0

Cantidad:  **Agregar al carro**

Ilustración 72. Cotización de mesa de trabajo obtenida en Novex para el proceso en planta piloto



**NOVEX** Rastrear pedido Publicaciones Sucursales  
Iniciar sesión | Crear cuenta Mi lista Q0.00

Comprar por Departamento sku, nombre, marca **Buscar**

**TU FERRETERÍA EN LÍNEA**

INICIO - OUTDOORS - MUEBLES DE EXTERIOR - MESAS - MESA PLEGABLE 6 PIES

**MESA PLEGABLE 6 PIES**

SKU#09100  
Marca: LIFETIME  
Modelo: SY183C


**Q600.00 / UNI**

★★★★★  
¡Sé el primero en evaluar este producto!  
\* Requiere Inicio de sesión para poder calificar producto.

Compartir 0

Cantidad:  **Agregar al carro**

Ilustración 73. Cotización de potenciómetro portátil obtenida en Dilab para el proceso en planta piloto



NO. COTIZACION: 3200 898  
 Guatemala 23/08/2016

CONTACTO: MARÍA RAMOS  
 EMPRESA: CONTRASA  
 DIRECCION CIUDAD

CODIGO: 3250  
 NIT: 490307-2  
 TELEFONO 55519005

CANTIDAD	CODIGO	DESCRIPCION	PRECIO	SUBTOTAL
1.00	OHA-30073971	MEDIDOR DE PH TIPO PLUMA ST20	630.00	630.00

Cuadro 202. Cotizaciones de materiales obtenidas en el mercado de Mixco a un precio de menudeo

Materiales	Precio cotizado	Precio menudeo
1 Cuchillo de acero inoxidable	Q23.00	Q15.00
1 Tabla de madera 12X16 in	Q89.00	Q25.00
1 par de guantes de latex	Q19.00	Q10.00
1 cubeta plástica multiusos 5 galones	Q50.00	Q30.00
1 paleta plástica para altas temperatura	Q39.00	Q20.00
1 tijera para hojalatero	Q100.00	Q50.00
Pila con 3 marcos de un mínimo de 22X20 in y 200 galones de capacidad	Q1,175.00	Q750.00
Balanza (0-25 Kg)	Q645.00	Q420.00

## K. Anexos

Ilustración 74. Ingreso de los pseudotallos



(06 de junio, 2016; Laboratorio de Ingeniería Química, edificio E, UVG)

Ilustración 75. Vista de diámetros inferior y superior del pseudotallo.



(06 de junio, 2016; Laboratorio de Ingeniería Química, edificio E, UVG)

Ilustración 76. Sección transversal de pinzote



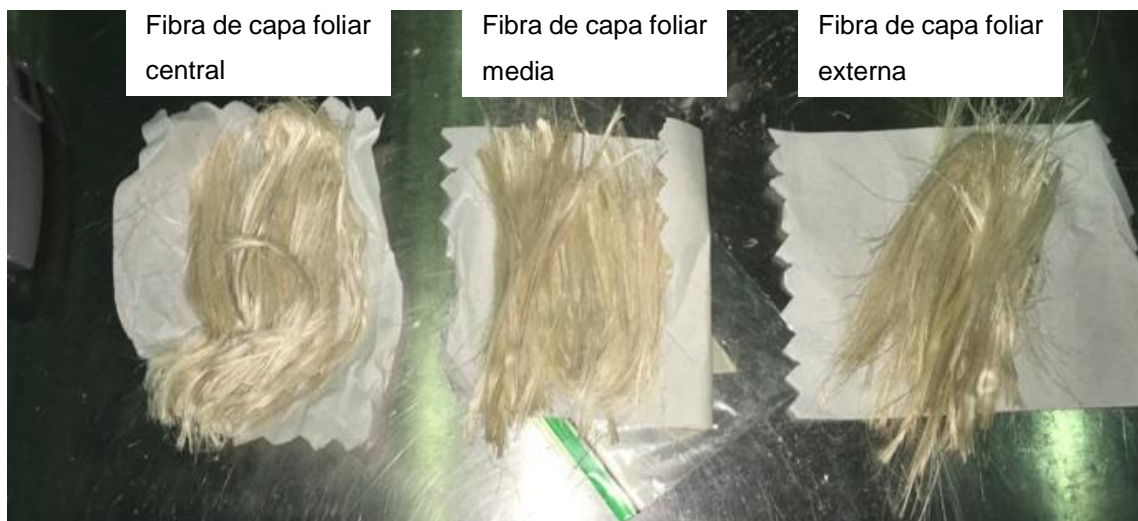
(06 de junio, 2016; Laboratorio de Ingeniería Química, edificio E, UVG)

Ilustración 77. Clasificación puntos de extracción de fibra



(14 de junio, 2016; Laboratorio de Ingeniería Química, edificio E, UVG)

Ilustración 78. Muestra de la fibra extraída de distintas capas foliares



(14 de junio, 2016; Laboratorio de Ingeniería Química, edificio E, UVG)

Ilustración 79. Sistemas de biodegradabilidad de fibra



(22 de junio, 2016; Laboratorio de Ingeniería Química, edificio E, UVG)

Ilustración 80. Desgaste de la fibra a los 30 días de degradación.



Fibra de capa foliar  
central

Fibra de capa foliar  
media

Fibra de capa foliar  
externa

Pseudotallo 1

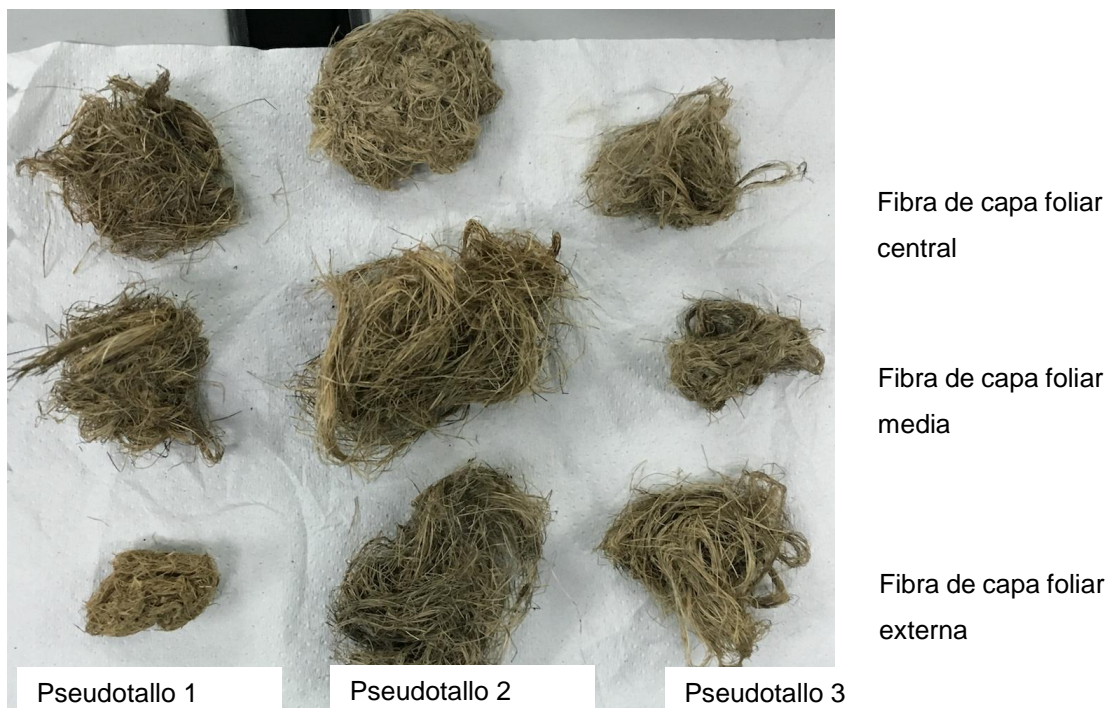
Pseudotallo 2

Pseudotallo 3

(22 de julio, 2016 Laboratorio de Ingeniería Química, edificio E, UVG)

Ilustración 81. Desgaste de la fibra a los 60 días de degradación.

Laboratorio de Ingeniería Química, edificio E, UVG



(23 de agosto, 2016; Laboratorio de Ingeniería Química, edificio E, UVG)

Ilustración 82. Desgaste de la fibra a los 80 días de degradación.



Pseudotallo 1

Pseudotallo 2

Pseudotallo 3

Fibra de capa foliar  
central

Fibra de capa foliar  
central

Fibra de capa foliar  
media

Fibra de capa foliar  
media

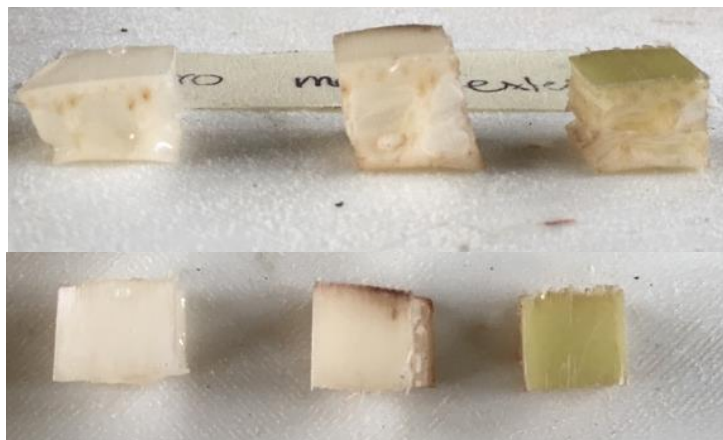
Fibra de capa foliar  
externa

Fibra de capa foliar  
externa

(13 de septiembre, 2016; Laboratorio de Ingeniería Química, edificio E, UVG)

Ilustración 83. Muestras para contenido determinación de contenido de humedad, Vista lateral y vista de planta

Capa foliar central      Capa foliar media      Capa foliar externa



(15 de junio, 2016; Laboratorio de Ingeniería Química, edificio E, UVG)

Ilustración 84. Muestras luego de operación de desecación para determinación de contenido de humedad.

Capa foliar central      Capa foliar media      Capa foliar externa

Muestra 1

Muestra 2

Muestra 3



(15 de junio, 2016; Laboratorio de Ingeniería Química, edificio E, UVG)

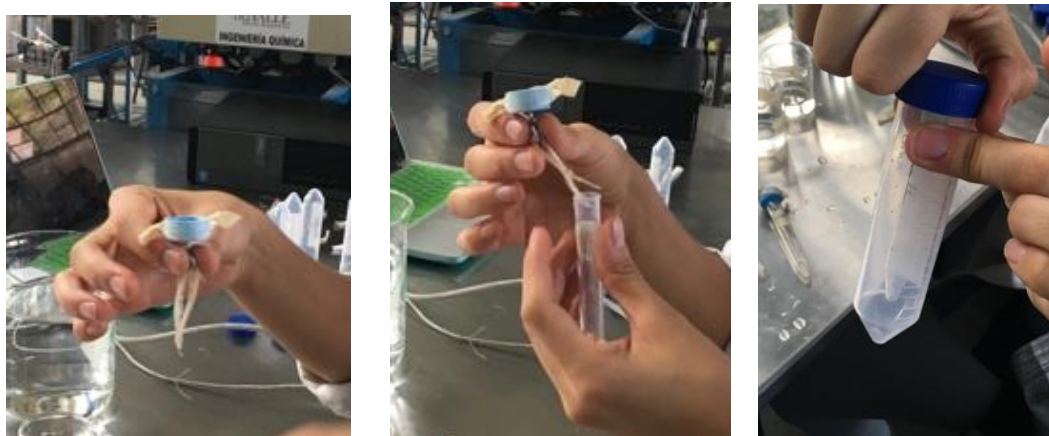
Ilustración 85. Muestras para prueba de retención de agua.  
Capa foliar central      Capa foliar media      Capa foliar externa



(24 de junio, 2016; Laboratorio de Ingeniería Química, edificio E, UVG)

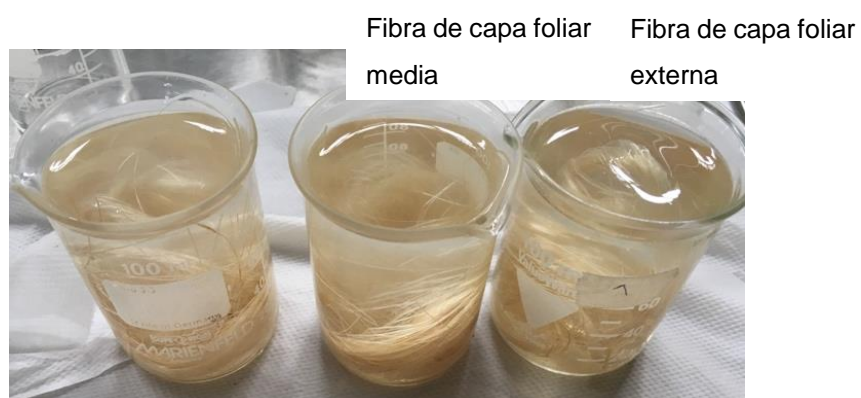
Ilustración 86. Montaje de sistema para proceso de centrifugación prueba de retención de agua

Suspensión de muestra      Inmersión en tubo con      Acople a tubo centrífugo



(24 de junio, 2016; Laboratorio de Ingeniería Química, edificio E, UVG)

Ilustración 87. Dilución de muestra 1/100 para prueba microbiológica



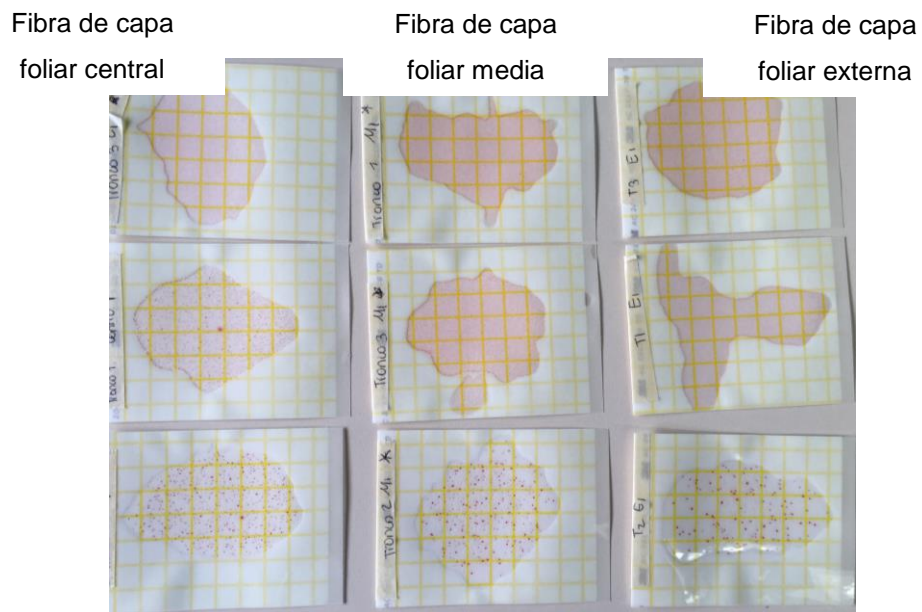
(14 de septiembre, 2016; Laboratorio de microbiología, edificio II, UVG)

Ilustración 88. Medio de cultivo para prueba microbiológica



(14 de septiembre, 2016; Laboratorio de microbiología, edificio II, UVG)

Ilustración 89. Resultados de prueba microbiológica



(16 de septiembre, 2016; Laboratorio de microbiología, edificio II, UVG)

Ilustración 90. Muestras para determinación de pH

Fibra de capa foliar central	Fibra de capa foliar media	Fibra de capa foliar externa
---------------------------------	-------------------------------	---------------------------------



(10 de junio, 2016; Laboratorio de balanzas de Ingeniería Química, edificio E, UVG)

## Ilustración 91. Disolución y determinación de pH

Dilución en agua destilada



Inmersión de electrodo



(10 de junio, 2016; Laboratorio de balanzas de Ingeniería Química, edificio E, UVG)

## Ilustración 92. Sistema de vacío para remover aire atrapado para la prueba de densidad



(10 de junio, 2016; Laboratorio de balanzas de Ingeniería Química, edificio E, UVG)

Ilustración 93. Determinación de volumen desplazado por muestras inmersas en aceite para prueba de densidad.



(10 de junio, 2016; Laboratorio de balanzas de Ingeniería Química, edificio E, UVG)

Ilustración 94. Corte de fibra para homogenizar previo a prueba de ceniza

Fibra de capa foliar central

Fibra de capa foliar media

Fibra de capa foliar externa



(08 de junio, 2016; Laboratorio de análisis, edificio II, UVG)

Ilustración 95. Quemado de muestras previo a mufla para prueba de ceniza



(08 de junio, 2016; Laboratorio de análisis, edificio II, UVG)

Ilustración 96. Muestras en mufla para ser incineradas a 550 C



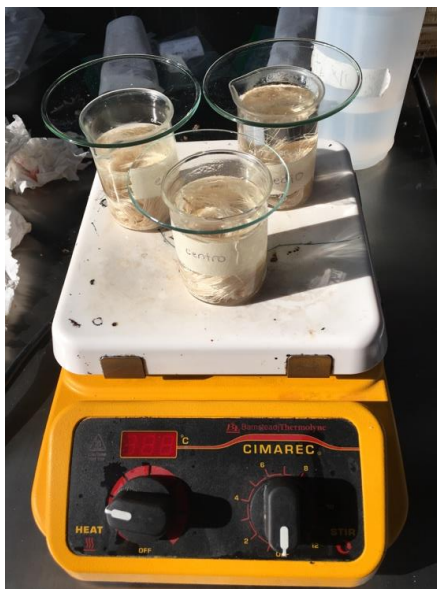
(08 de junio, 2016; Laboratorio de análisis, edificio II, UVG)

Ilustración 97. Cenizas remanentes de muestras luego de incineración



(09 de junio, 2016; Laboratorio de análisis, edificio II, UVG)

Ilustración 98. Fibra en alcohol, etapa 1 proceso de análisis químico



(14 de junio, 2016; Laboratorio de Ingeniería Química, edificio E, UVG)

Ilustración 99. Fibras expuestas a KOH al 24 %, etapa 2 proceso de análisis químico



(24 de junio, 2016; Laboratorio Análisis Instrumental Avanzado, edificio II, UVG)

Ilustración 100. Fibra expuesta a  $H_2SO_4$  al 72% y filtración y filtrado, etapa 3 proceso de análisis químico



(16 de junio, 2016; Laboratorio Análisis Instrumental Avanzado,, edificio II, UVG)

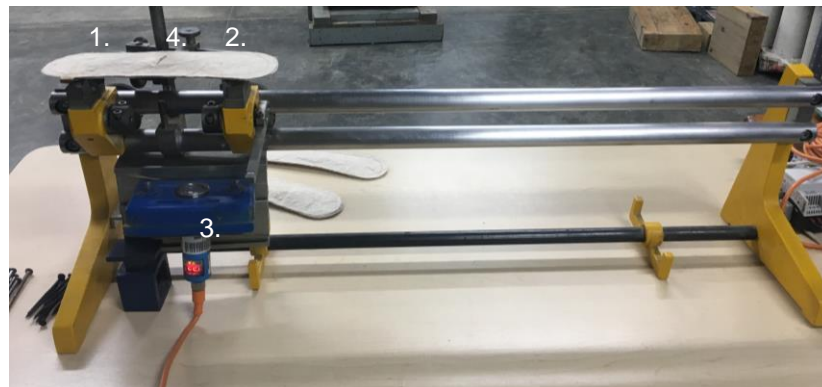
Ilustración 101. Fibra Luego de ser expuesta a  $H_2SO_4$  al 5% y proceso de secado., etapa 4 de proceso de análisis químico.

Fibra de capa foliar central      Fibra de capa foliar media      Fibra de capa foliar externa



(17 de junio, 2016; Laboratorio Análisis Instrumental Avanzado,, edificio II, UVG)

Ilustración 102. Sistema para la prueba de flexión



(30 de septiembre, 2016; Laboratorio de Resistencias de Materiales I, UVG)

En donde:

1 y 2: Puntos de soporte

3: Sensor ultrasónico

4: Carga puntual

Ilustración 103. Degradación de pseudotallos expuestos al Sol día 1



(06 de junio, 2016; Parte exterior del laboratorio de Ingeniería Química edificio E, UVG)

Ilustración 104. Degradación de pseudotallos sin exposición solar día 1



(06 de junio, 2016; Cuarto de compresores, Departamento de Ingeniería química, UVG)

Ilustración 105. Degradación de pseudotallos expuestos al Sol día 2

Vista superior



Vista inferior



(07 de junio, 2016; Parte exterior del laboratorio de Ingeniería Química edificio E, UVG)

Ilustración 106. Degradación de pseudotallos sin exposición solar día 2

Vista superior



Vista inferior



(07 de junio, 2016; Cuarto de compresores, Departamento de Ingeniería química, UVG)

## Ilustración 107. Degradación de pseudotallos expuestos al Sol día 3

Vista superior



Vista inferior



(08 de junio, 2016, Parte exterior del laboratorio de Ingeniería Química edificio E, UVG)

Vista de diámetros



(08 de junio, 2016; Parte exterior del laboratorio de Ingeniería Química edificio E, UVG)

Ilustración 108. Degradación de pseudotallos sin exposición solar día 3

Vista superior



Vista inferior



Vista de diámetros



(08 de junio, 2016; Cuarto de compresores, Departamento de Ingeniería química, UVG)

Ilustración 109. Degradación de pseudotallos expuestos al Sol día 4

Vista superior



Vista inferior



Continuación, Ilustración 109

Vista de diámetros



(09 de junio, 2016; Parte exterior del laboratorio de Ingeniería Química edificio E, UVG)

Ilustración 110. Degradación de pseudotallos sin exposición solar día 4

Vista superior

Vista inferior



(09 de junio, 2016; Cuarto de compresores, Departamento de Ingeniería química, UVG)

Vista de diámetros diámetros



(09 de junio, 2016; Cuarto de compresores, Departamento de Ingeniería química, UVG)

Ilustración 111. Degradación de pseudotallos expuestos al Sol día 5

Vista superior

Vista inferior



Vista de diámetros



(10 de junio, 2016; Parte exterior del laboratorio de Ingeniería Química edificio E, UVG)

Ilustración 112. Degradación de pseudotallos sin exposición solar día 5

Vista superior

Vista inferior



Continuación, Ilustración 112

Vista de diámetros



(10 de junio, 2016; Cuarto de compresores, Departamento de Ingeniería química, UVG)

Ilustración 113. Degradación de pseudotallos expuestos al Sol día 9

Vista superior

Vista inferior



Vista de diámetros



(14 de junio, 2016; Parte exterior del laboratorio de Ingeniería Química edificio E, UVG)

Ilustración 114. Degradación de pseudotallos sin exposición solar día 9

Vista superior



Vista inferior



Vista de diámetros



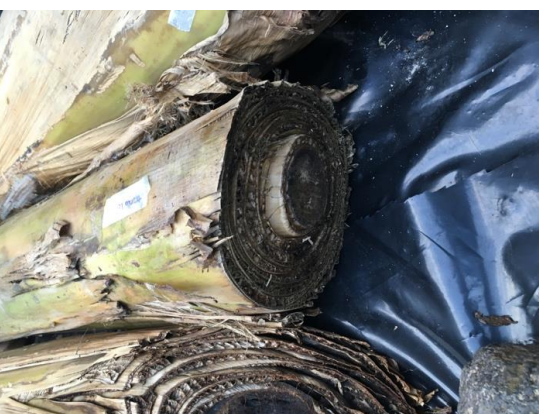
(14 de junio, 2016; Cuarto de compresores, Departamento de Ingeniería química, UVG)

Ilustración 115. Degradación de pseudotallos expuestos al Sol día 10

Vista superior



vista de diámetro



\*\* primer día de ingreso de pseudotallo C y F (estos fueron colocados en medio de los otros dos sujetos de estudio) (15 de junio, 2016; Parte exterior del laboratorio de Ingeniería Química edificio E, UVG)

Ilustración 116. Degradación de pseudotallos expuestos al Sol día 10

Vista superior

Vista inferior



(15 de junio, 2016; Parte exterior del laboratorio de Ingeniería Química edificio E, UVG)

Ilustración 117. Degradación de pseudotallos sin exposición solar día 10

Vista de diámetros



(15 de junio, 2016; Cuarto de compresores, Departamento de Ingeniería química, UVG)

Ilustración 118. Degradación de pseudotallos expuestos al Sol día 11

Vista superior



vista de diámetros



(16 de junio, 2016; Parte exterior del laboratorio de Ingeniería Química edificio E, UVG)

Ilustración 119. Degradación de pseudotallos sin exposición solar día 11

Vista superior



Vista de diámetros



Reducción del centro



(16 de junio, 2016; Cuarto de compresores, Departamento de Ingeniería química, UVG)

## Ilustración 120. Degradación de pseudotallos expuestos al Sol día 12

Vista superior



Vista inferior



Vista de diámetros



(17 de junio, 2016; Parte exterior del laboratorio de Ingeniería Química edificio E, UVG)

Ilustración 121. Degradación de pseudotallos sin exposición solar día 12

Vista superior



Vista inferior



Vista de diámetros



(17 de junio, 2016; Cuarto de compresores, Departamento de Ingeniería química, UVG)

Ilustración 122. Degradación de pseudotallos expuestos al Sol día 15

Vista superior



Vista inferior



Vista de diámetros



(20 de junio, 2016; Parte exterior del laboratorio de Ingeniería Química edificio E, UVG)

## Ilustración 123. Degradación de pseudotallos sin exposición solar día 15

Vista superior



Vista inferior



(20 de junio, 2016; Cuarto de compresores, Departamento de Ingeniería química, UVG)

Vista de diámetros



(20 de junio, 2016; Cuarto de compresores, Departamento de Ingeniería química, UVG)

## Ilustración 124. Degradación de pseudotallos expuestos al Sol día 22

Vista superior



Vista inferior



Vista de diámetros



(29 de junio, 2016; Parte exterior del laboratorio de Ingeniería Química edificio E, UVG)

## Ilustración 125. Degradación de pseudotallos sin exposición solar día 22

Vista superior



Vista inferior



Vista de diámetros



(29 de junio, 2016; Cuarto de compresores, Departamento de Ingeniería química, UVG)

## Ilustración 126. Degradación de pseudotallos expuestos al Sol día 29

Vista superior



Vista inferior



Vista de diámetros



(06 de julio, 2016; Parte exterior del laboratorio de Ingeniería Química edificio E, UVG)

Ilustración 127. Degradación de pseudotallos sin exposición solar día 29

Vista superior



Vista inferior



(06 de julio, 2016; Cuarto de compresores, Departamento de Ingeniería química, UVG)

Ilustración 128. Degradación de pseudotallos expuestos al Sol día 29

Vista superior



Vista inferior



Vista de diámetros



(18 de julio, 2016; Parte exterior del laboratorio de Ingeniería Química edificio E, UVG)

Ilustración 129. Degradación de pseudotallos sin exposición solar día 41

Vista superior



Vista inferior



Vista de diámetros



(18 de julio, 2016; Cuarto de compresores, Departamento de Ingeniería química, UVG)

Ilustración 130. Degradación de pseudotallos expuestos al Sol día 55

Vista superior



Vista inferior

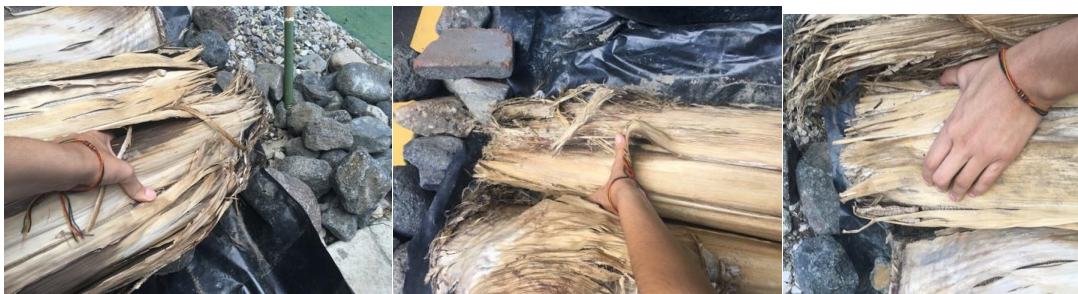


Deformación

Tronco A

Tronco B

Tronco C



(01 de agosto, 2016; Parte exterior del laboratorio de Ingeniería Química edificio E, UVG)

Ilustración 131. Degradación de pseudotallos sin exposición solar día 55

Vista superior



Vista inferior



Deformación

Tronco D



Tronco E



Tronco F



(01 de agosto, 2016; Cuarto de compresores, Departamento de Ingeniería química, UVG)

Ilustración 132. Degradación de pseudotallos expuestos al Sol día 63



Vista de diámetros



Deformación

Tronco A

Tronco B

Tronco C



(09 de agosto, 2016; Parte exterior del laboratorio de Ingeniería Química edificio E, UVG)

Ilustración 133. Degradación de pseudotallos sin exposición solar día 63



Vista de diámetros



Deformación

Tronco D

Tronco E

Tronco F



(09 de agosto, 2016; Cuarto de compresores, Departamento de Ingeniería química, UVG)

Ilustración 134. Degradación de pseudotallos expuestos al Sol día 73

Vista superior

Vista inferior



Vista de diámetros



Deformación

Tronco A

Tronco B

Tronco C



(19 de agosto, 2016; Parte exterior del laboratorio de Ingeniería Química edificio E, UVG)

Ilustración 135. Degradación de pseudotallos sin exposición solar día 73

Vista superior



Vista inferior



Vista de diámetros



Deformación

Tronco 7



Tronco 8



Tronco 12



(19 de agosto, 2016; Cuarto de compresores, Departamento de Ingeniería química, UVG)

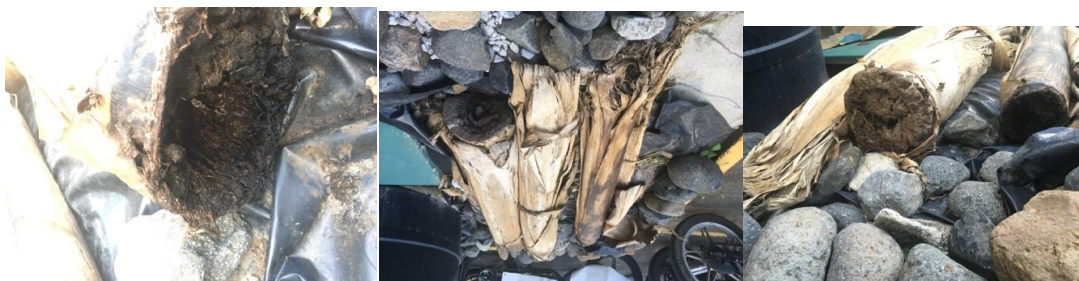
Ilustración 136. Degradación de pseudotallos expuestos al Sol día 80

Vista superior

Vista inferior



Vista de diámetros



Deformación

Tronco A

Tronco B

Tronco C



(26 de agosto, 2016; Parte exterior del laboratorio de Ingeniería Química edificio E, UVG)

Ilustración 137. Degradación de pseudotallos expuestos al Sol día 80



(26 de agosto, 2016; Cuarto de compresores, Departamento de Ingeniería química, UVG)

Ilustración 138. Degradación de pseudotallos expuestos al Sol día 87

Vista superior

Vista inferior



Vista de diámetros



Deformación

Tronco 1

Tronco 2

Tronco 11



(16 de septiembre, 2016; Parte exterior del laboratorio de Ingeniería Química edificio E, UVG)

Ilustración 139. Degradación de pseudotallos expuestos al Sol día 87



Vista de diámetros



Deformación

Tronco D

Tronco E

Tronco F



(02 de septiembre, 2016; Cuarto de compresores, Departamento de Ingeniería química, UVG)

Ilustración 140. Degradación de pseudotallos expuestos al Sol día 101

Parte superior



Parte inferior



Vista de diámetros



(16 de septiembre, 2016; Parte exterior del laboratorio de Ingeniería Química edificio E, UVG)

Ilustración 141. Degradación de pseudotallos expuestos al Sol día 101



(16 de septiembre, 2016; Cuarto de compresores, Departamento de Ingeniería química, UVG)

Ilustración 142. Tratamiento mecánico, muestra de fibra antes de tratamiento y después.

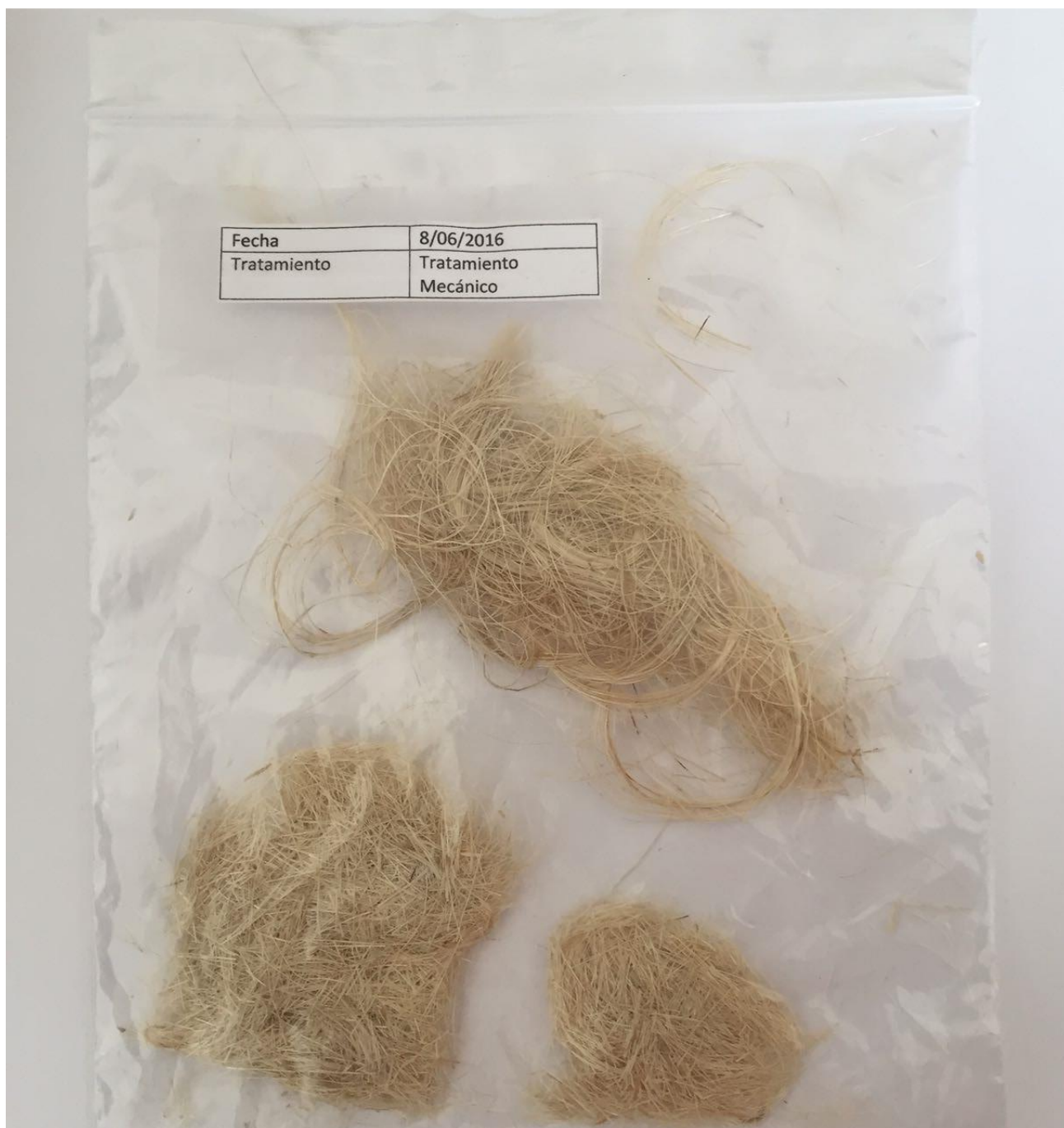


Ilustración 143. Pre tratamiento térmico y mecánico, muestra de fibra después de tratamiento térmico y después de tratamiento mecánico.

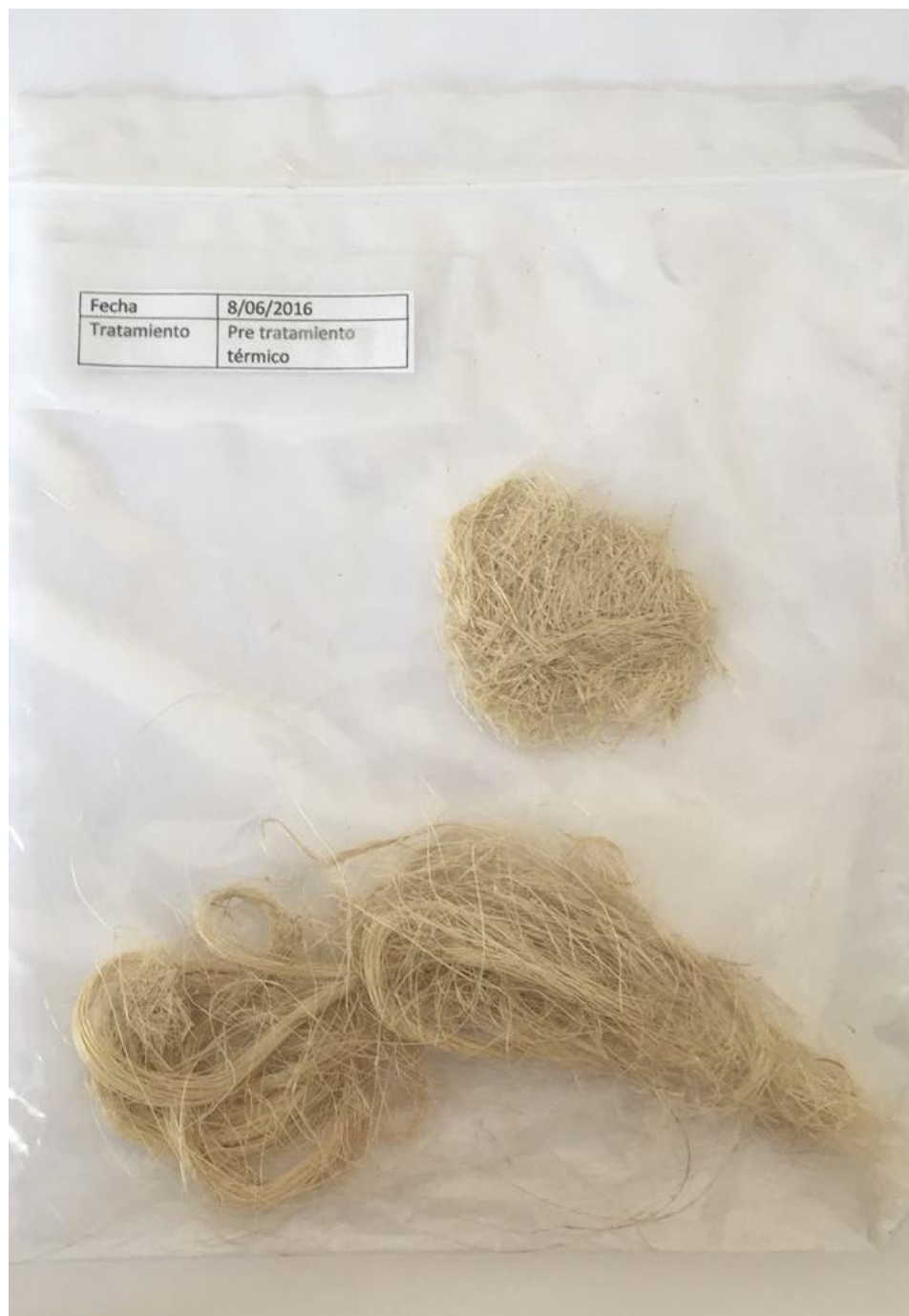


Ilustración 144. Post tratamiento térmico y mecánico, muestra de fibra después de tratamiento térmico y después de tratamiento mecánico.

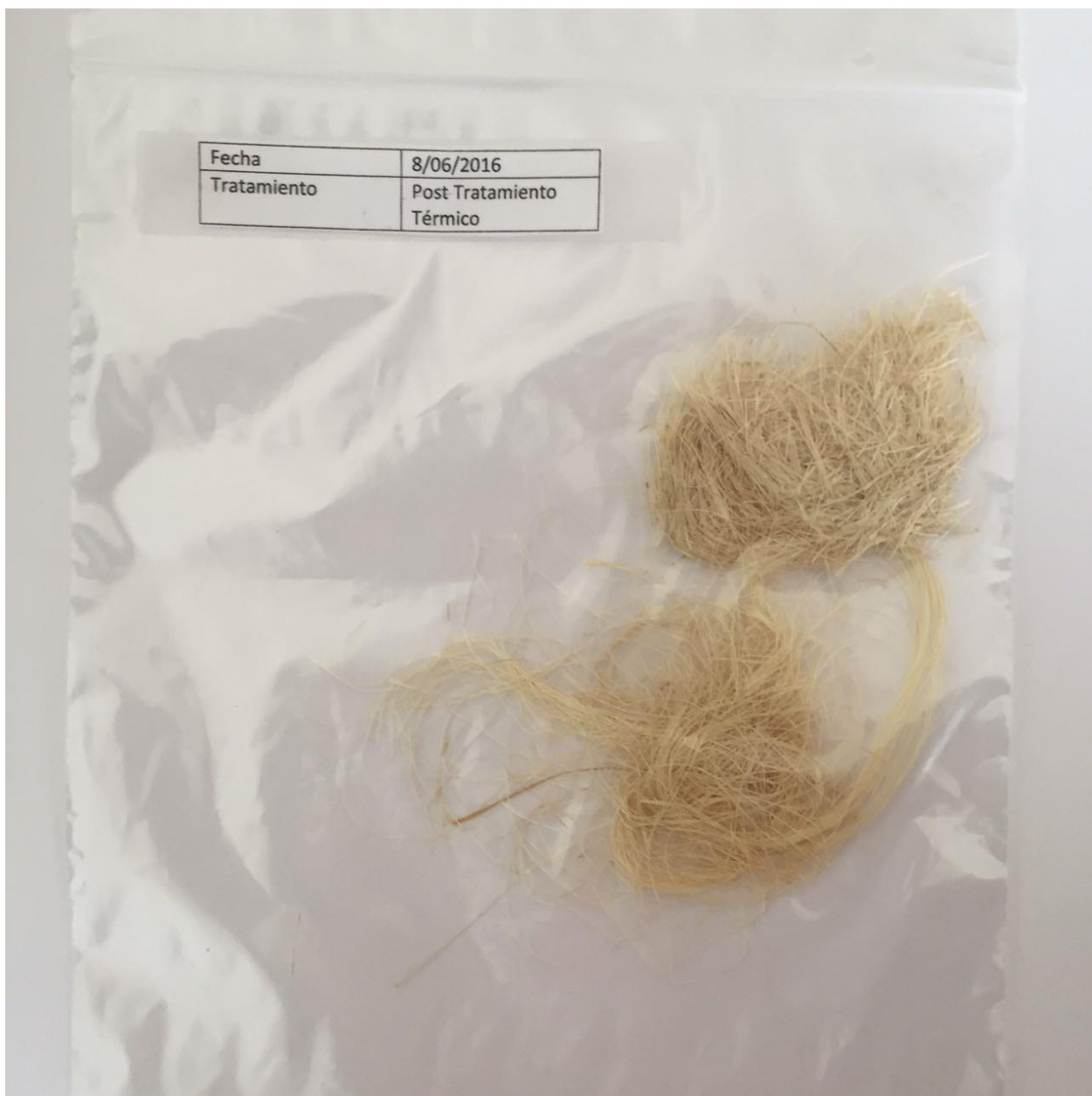


Ilustración 145. Tratamiento químico 1, Método Kraft y mecánico, muestra de fibra después de método Kraft y después de tratamiento mecánico.

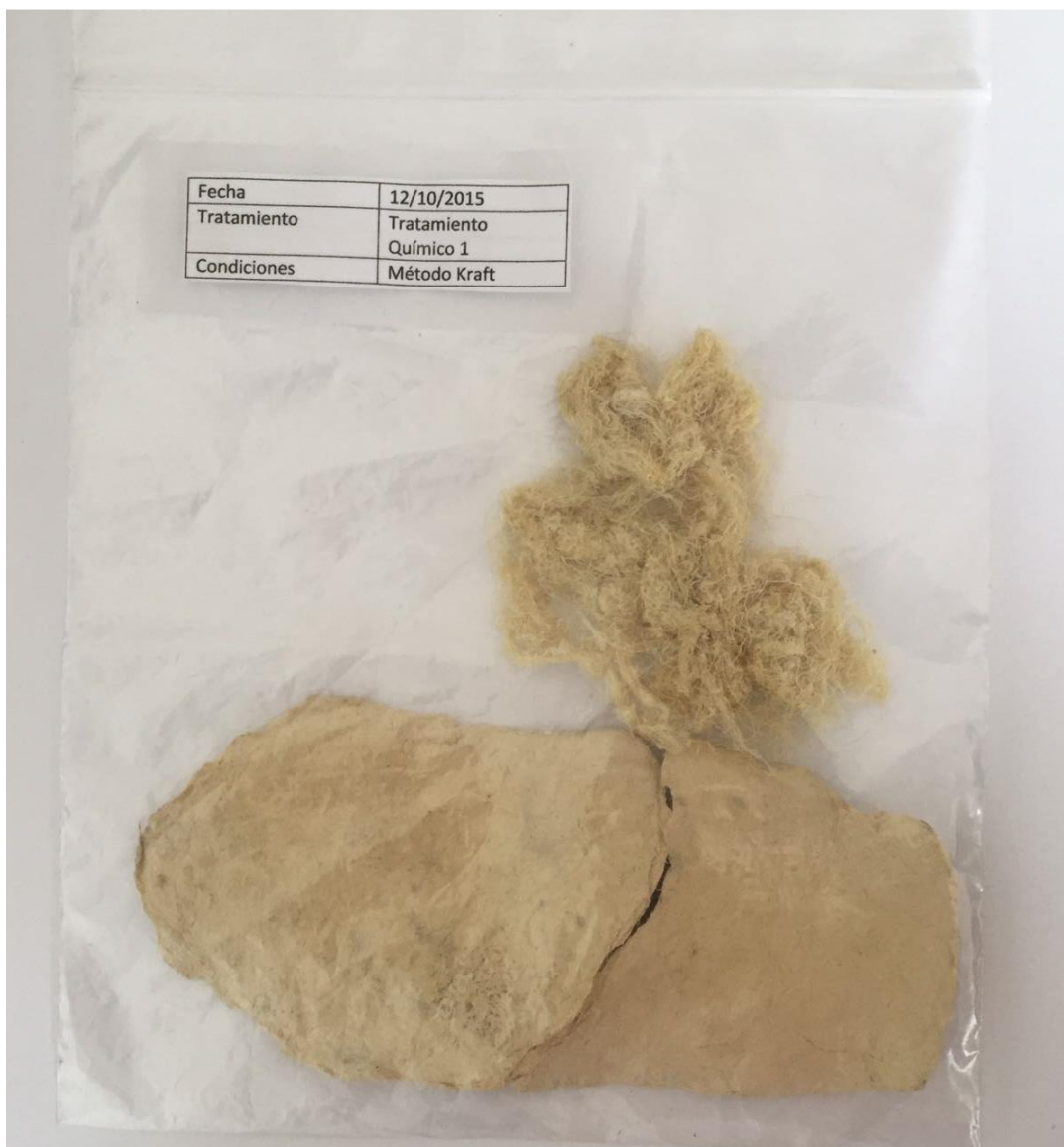


Ilustración 146. Tratamiento químico 2, proceso de soda modificado 30% y mecánico, muestra de fibra después de método soda modificado y después de tratamiento mecánico.

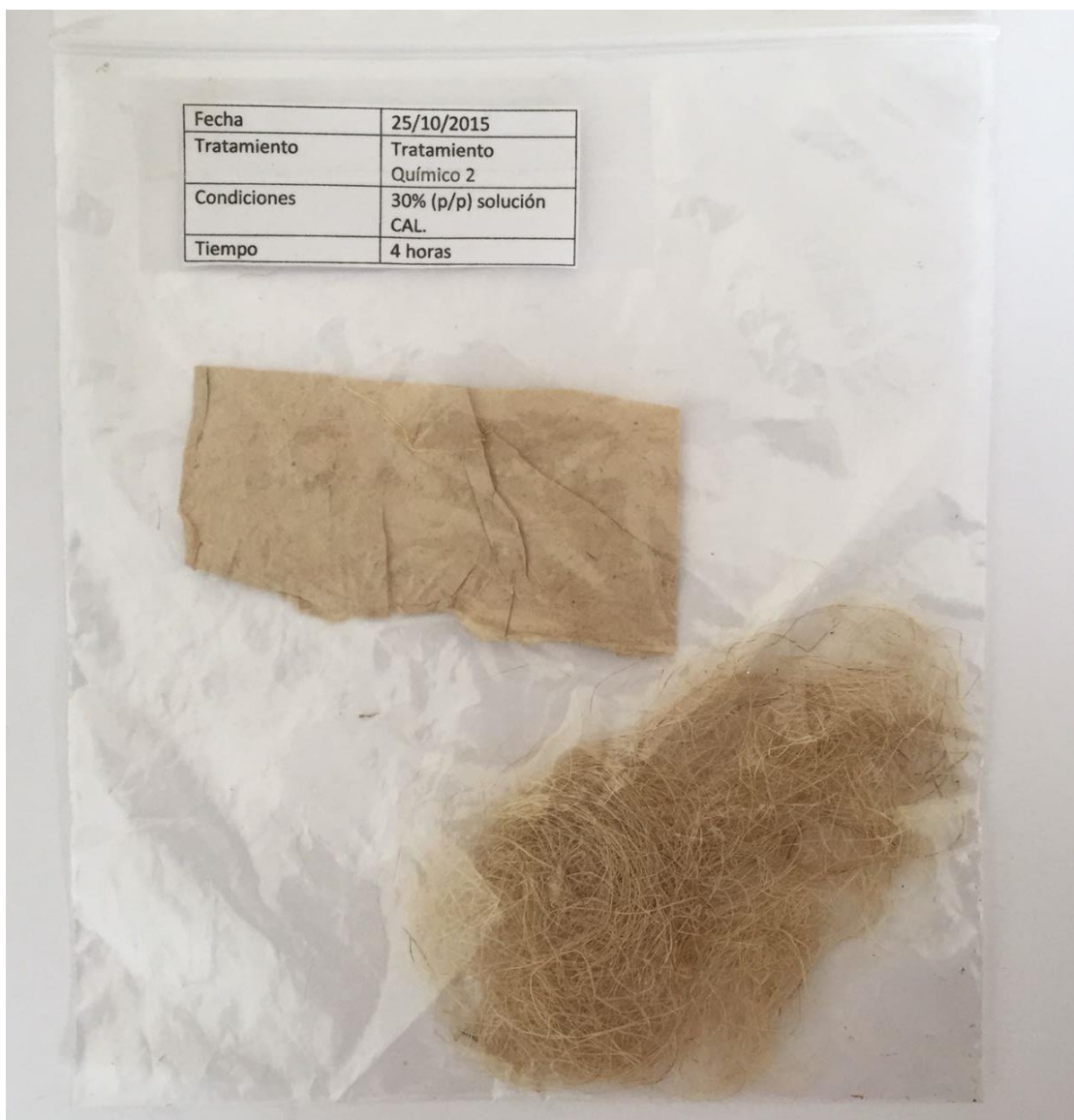


Ilustración 147. Tratamiento químico 2, proceso de soda modificado 25% y mecánico, tiempo 0.5 hora, muestra de fibra después de método soda modificado y después de tratamiento mecánico.

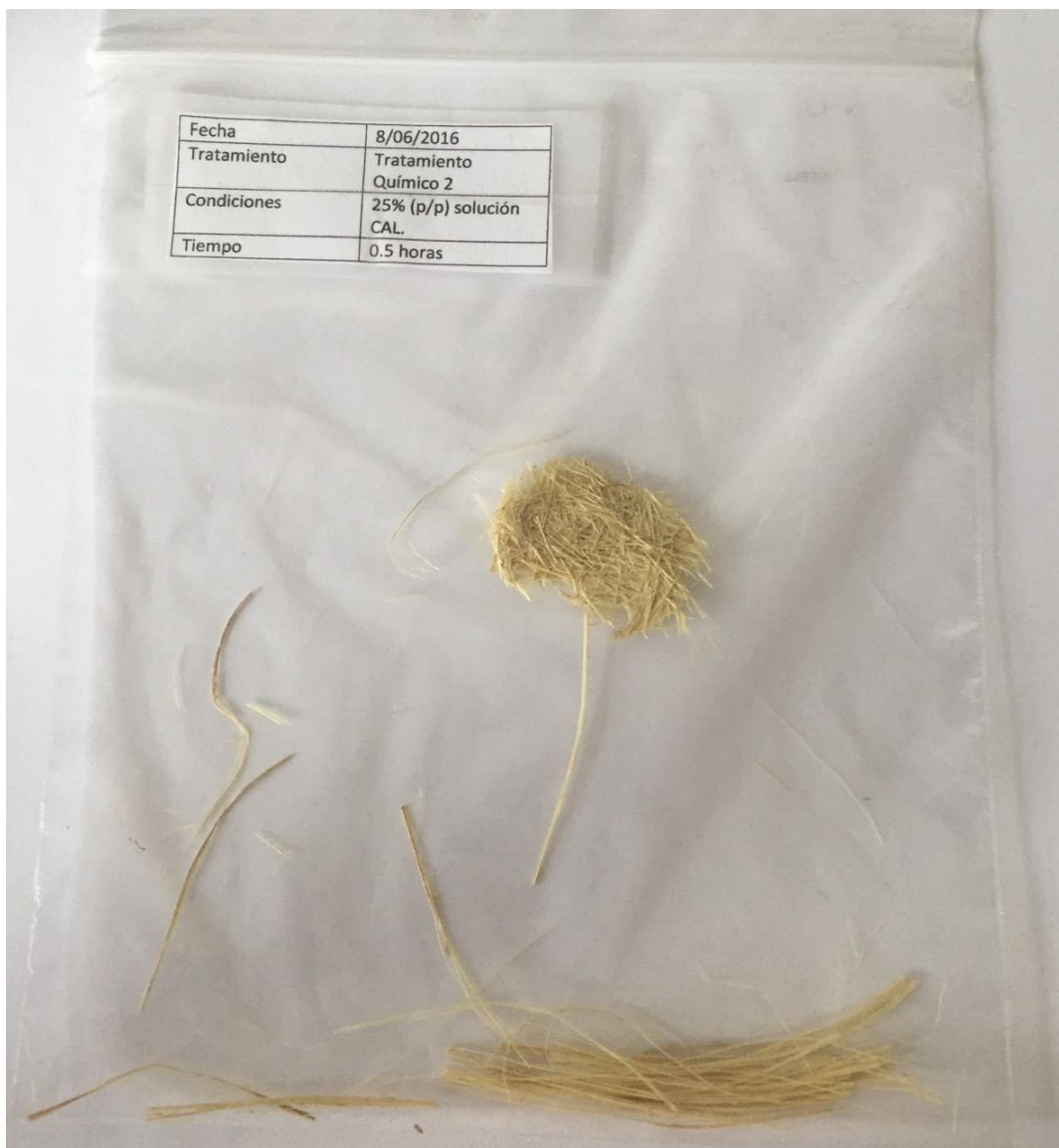


Ilustración 148. Tratamiento químico 2, proceso de soda modificado 25% y mecánico, tiempo 1.0 hora, muestra de fibra después de método soda modificado y después de tratamiento mecánico.

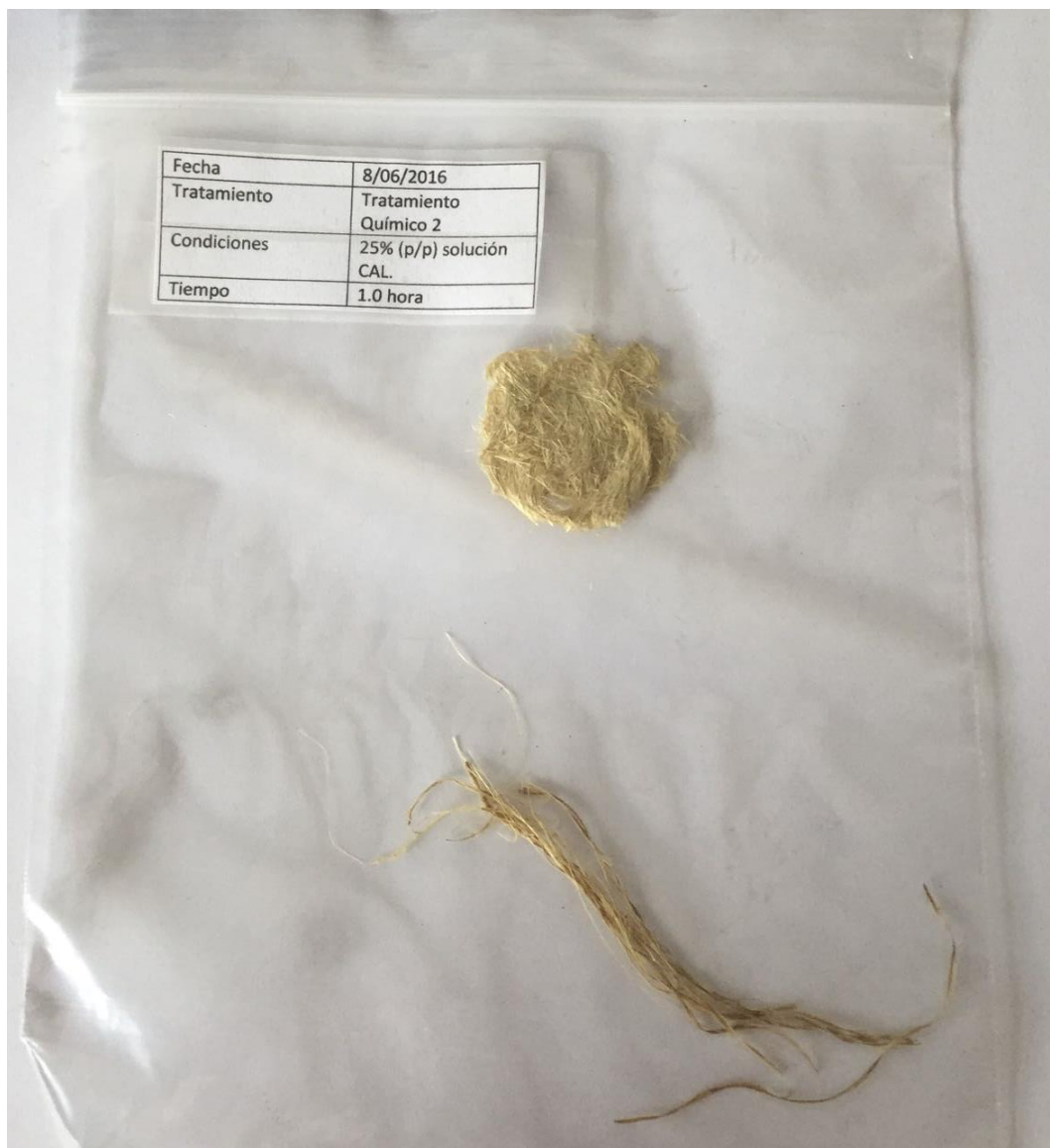


Ilustración 149. Tratamiento químico 2, proceso de soda modificado 25% y mecánico, tiempo 1.5 hora, muestra de fibra después de método soda modificado y después de tratamiento mecánico.

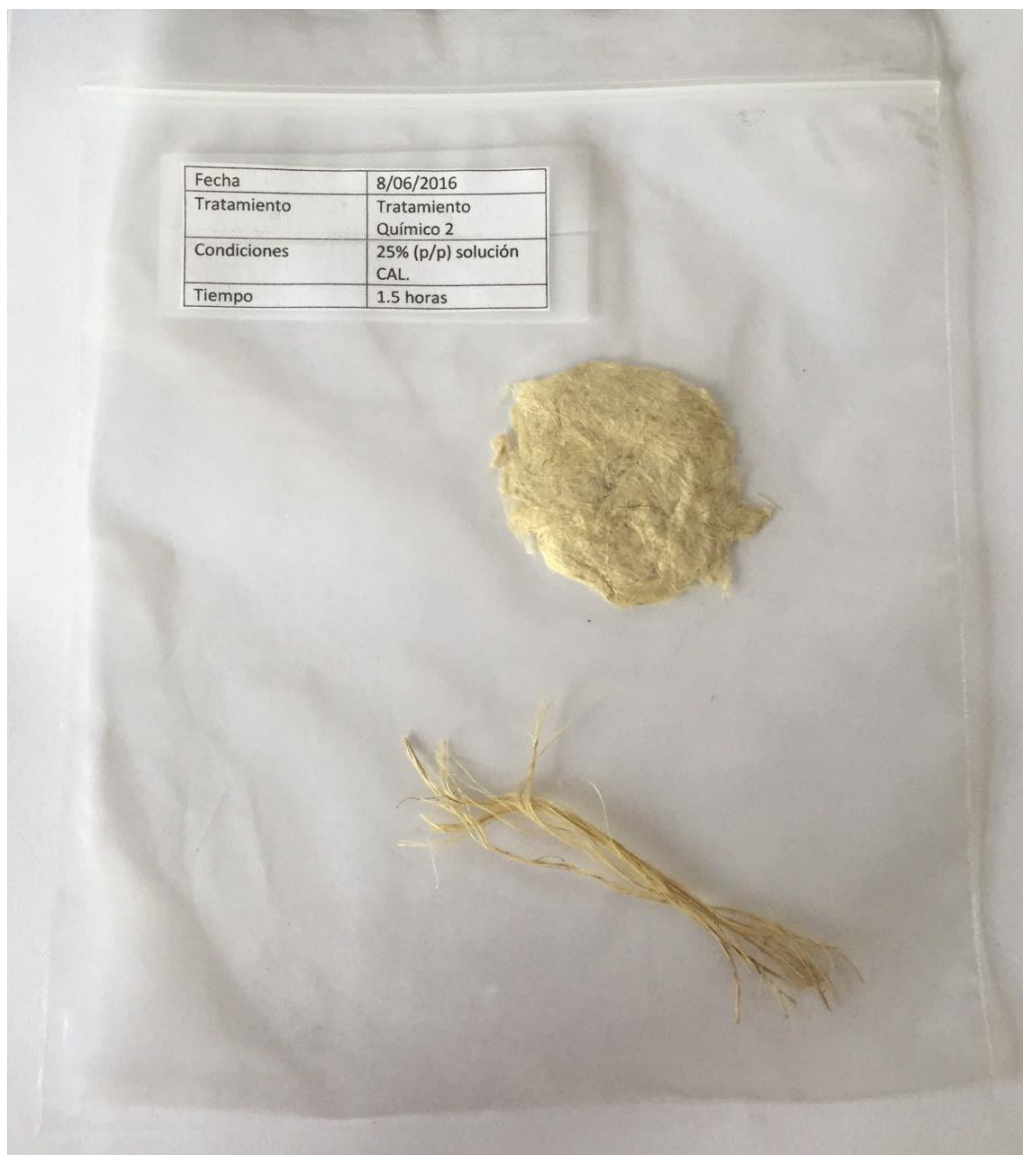


Ilustración 150. Tratamiento químico 2, proceso de soda modificado 25% y mecánico, tiempo 2.0 hora, muestra de fibra después de método soda modificado y después de tratamiento mecánico.

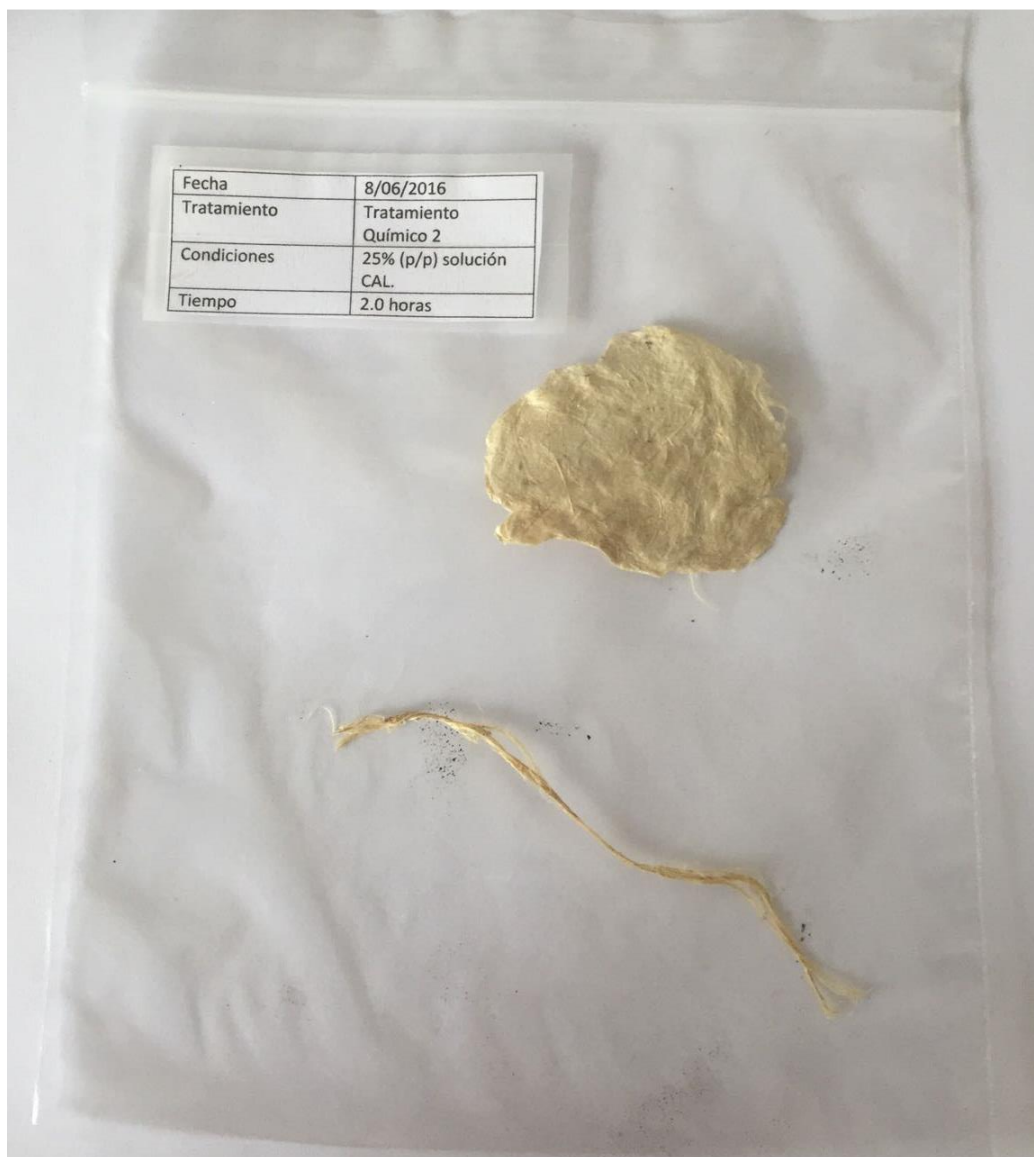


Ilustración 151. Tratamiento químico 2, proceso de soda modificado 25% y mecánico, tiempo 2.5 hora, muestra de fibra después de método soda modificado y después de tratamiento mecánico.



Ilustración 152. Tratamiento químico 2, proceso de soda modificado 25% y mecánico, tiempo 3.0 hora, muestra de fibra después de método soda modificado y después de tratamiento mecánico.

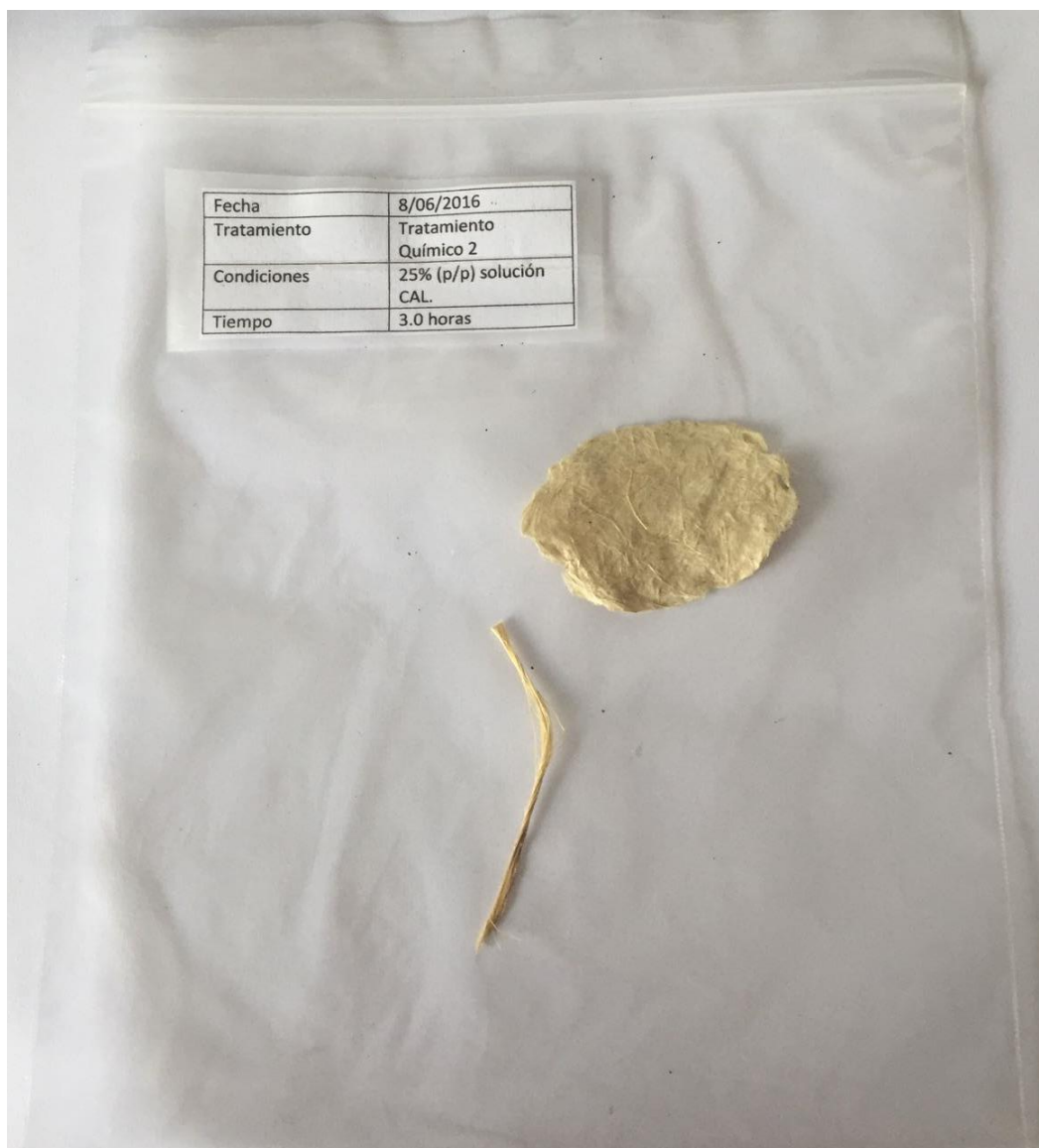


Ilustración 153. Tratamiento químico 2, proceso de soda modificado 25% y mecánico, tiempo 3.5 hora, muestra de fibra después de método soda modificado y después de tratamiento mecánico.

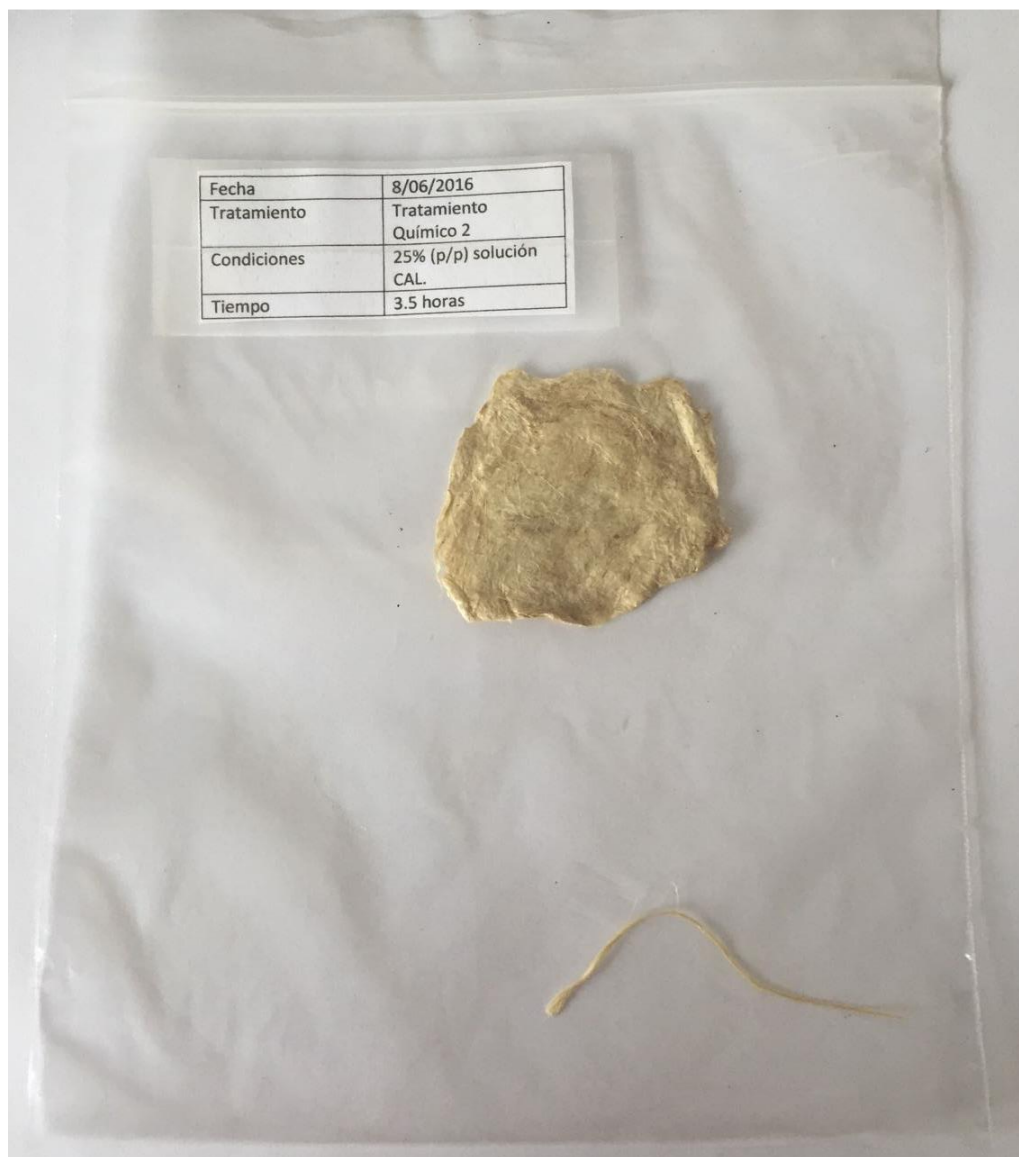


Ilustración 154. Tratamiento químico 2, proceso de soda modificado 25% y mecánico, tiempo 4.0 hora, muestra de fibra después de método soda modificado y después de tratamiento mecánico.

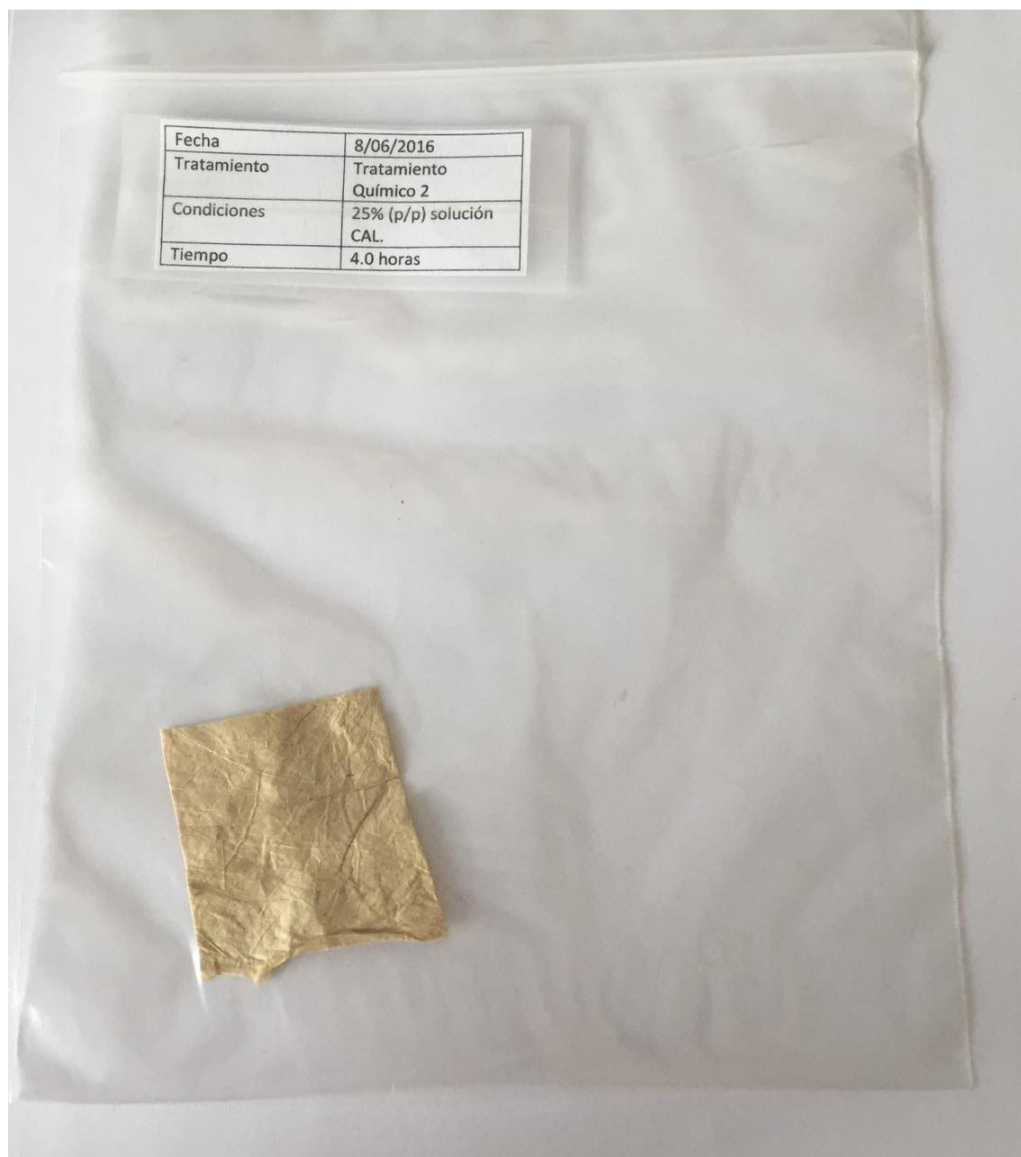


Ilustración 155. Tratamiento químico 2, proceso de soda modificado 10% y mecánico, tiempo 0.5 hora, muestra de fibra después de método soda modificado y después de tratamiento mecánico.

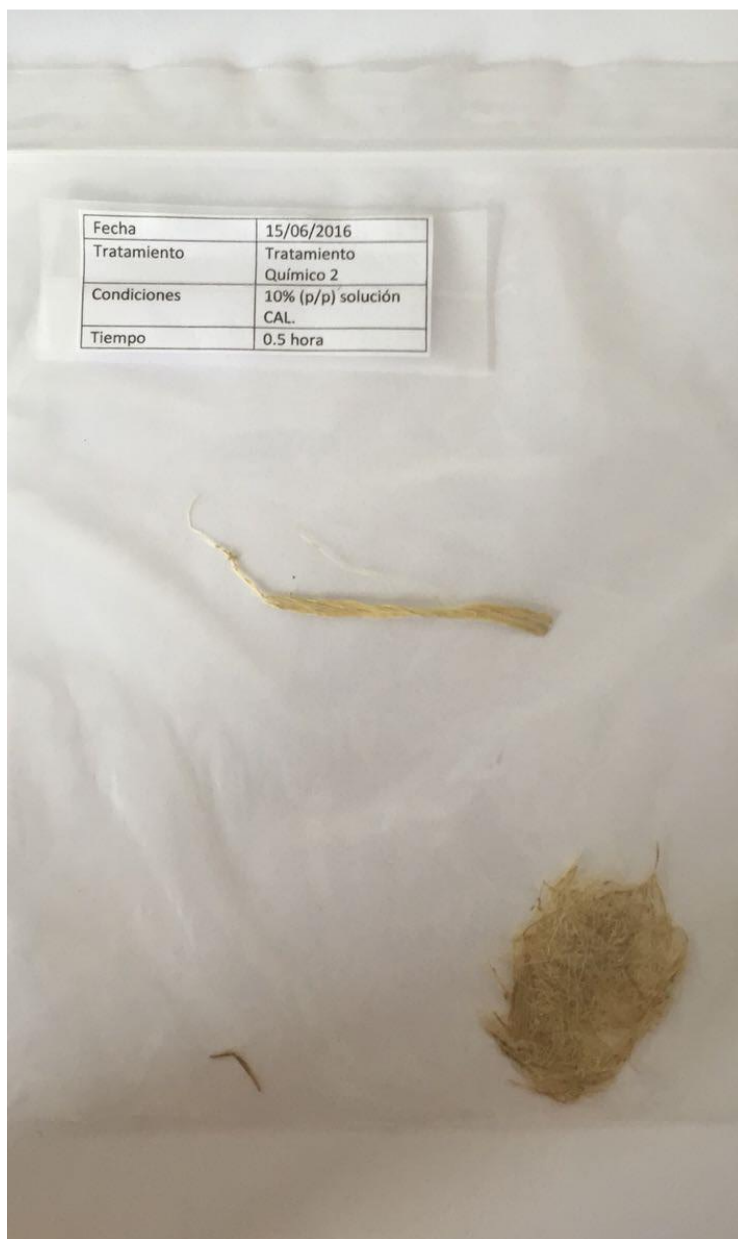


Ilustración 156. Tratamiento químico 2, proceso de soda modificado 10% y mecánico, tiempo 1.0 hora, muestra de fibra después de método soda modificado y después de tratamiento mecánico.

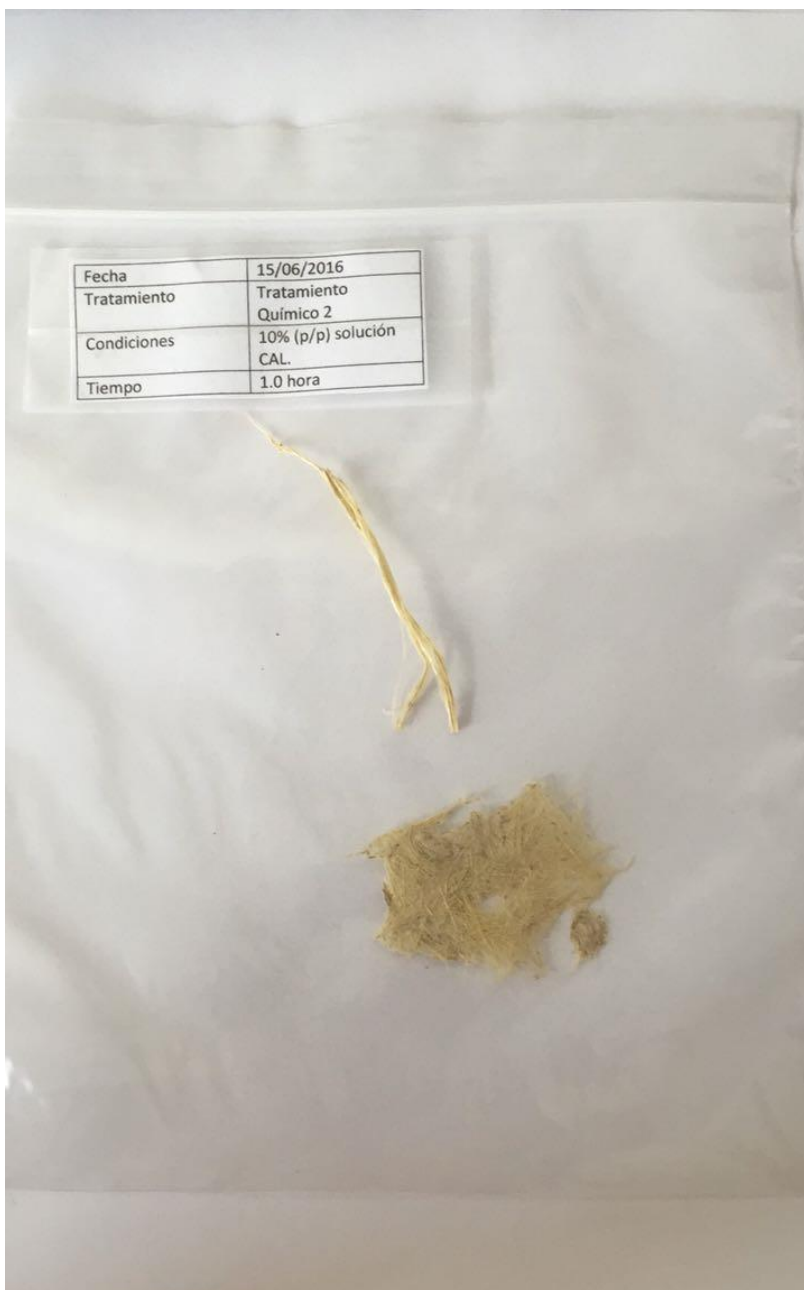


Ilustración 157. Tratamiento químico 2, proceso de soda modificado 10% y mecánico, tiempo 1.5 hora, muestra de fibra después de método soda modificado y después de tratamiento mecánico.

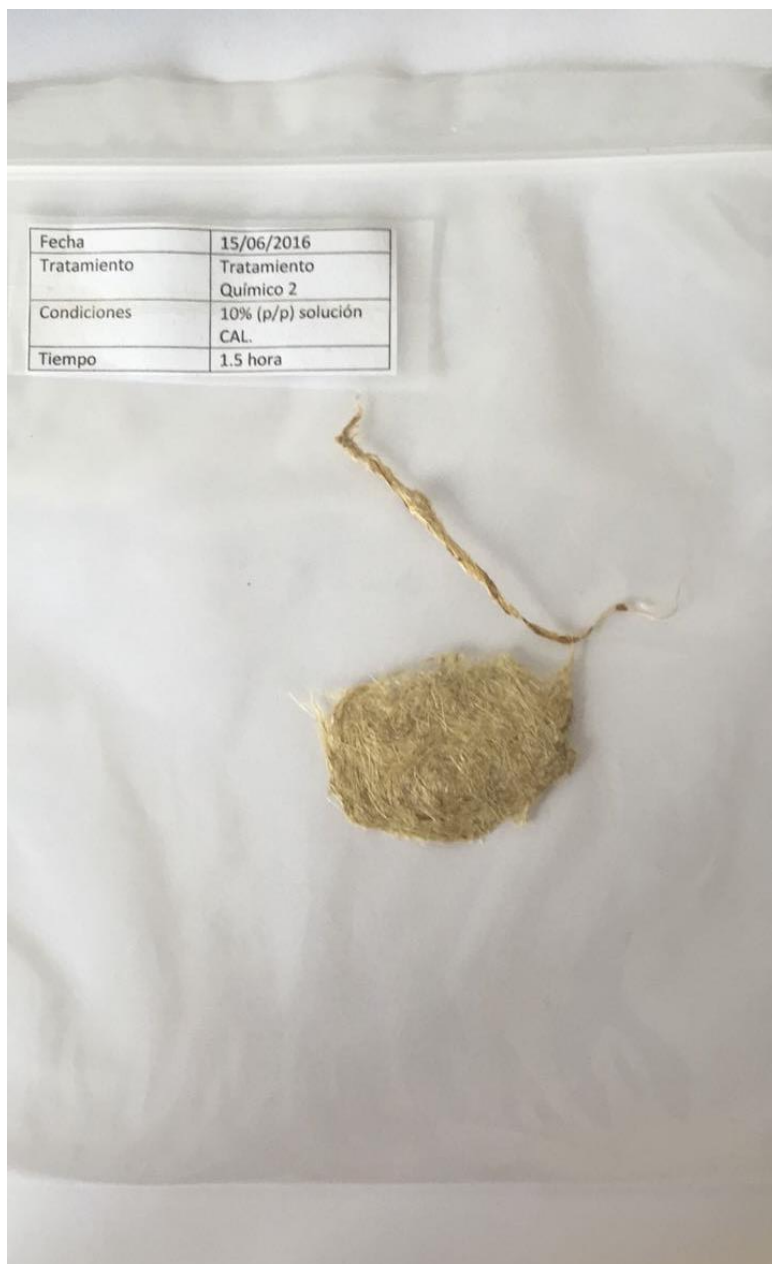


Ilustración 158. Tratamiento químico 2, proceso de soda modificado 10% y mecánico, tiempo 2.0 hora, muestra de fibra después de método soda modificado y después de tratamiento mecánico.

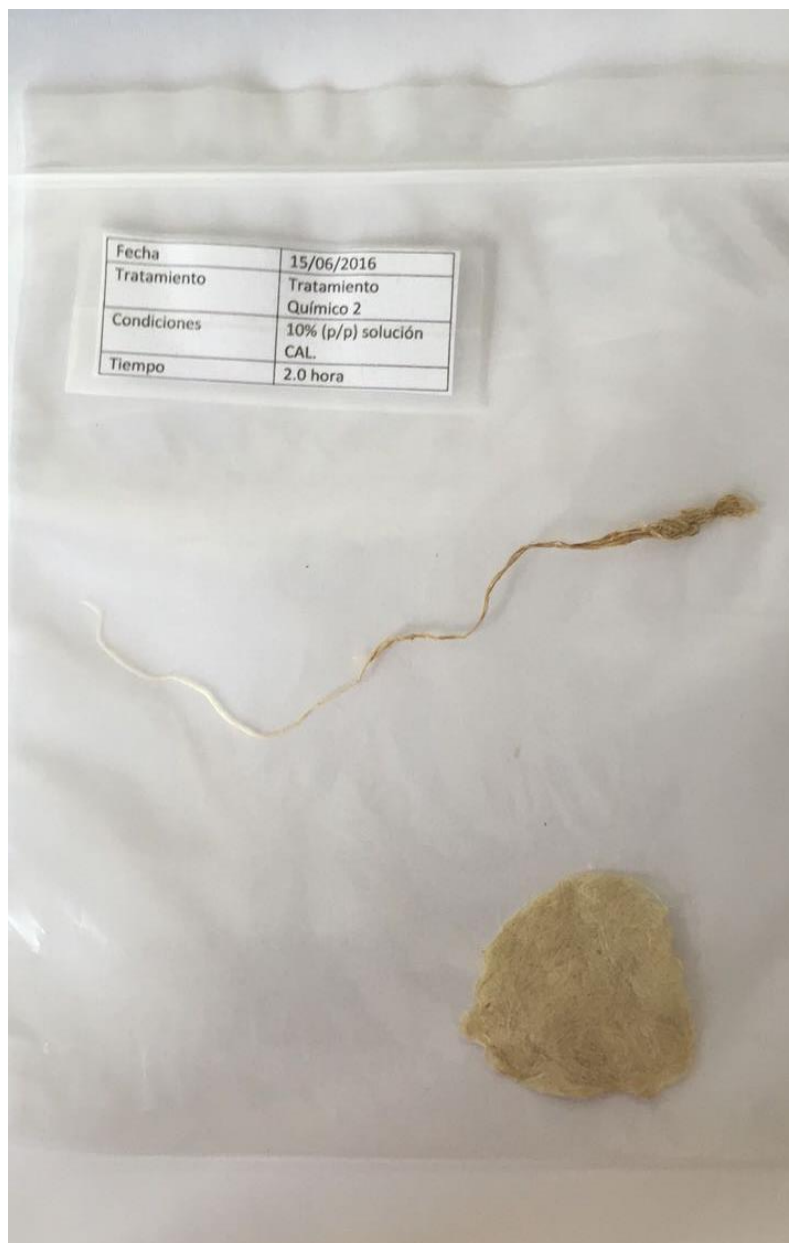


Ilustración 159. Tratamiento químico 2, proceso de soda modificado 10% y mecánico, tiempo 2.5 hora, muestra de fibra después de método soda modificado y después de tratamiento mecánico.

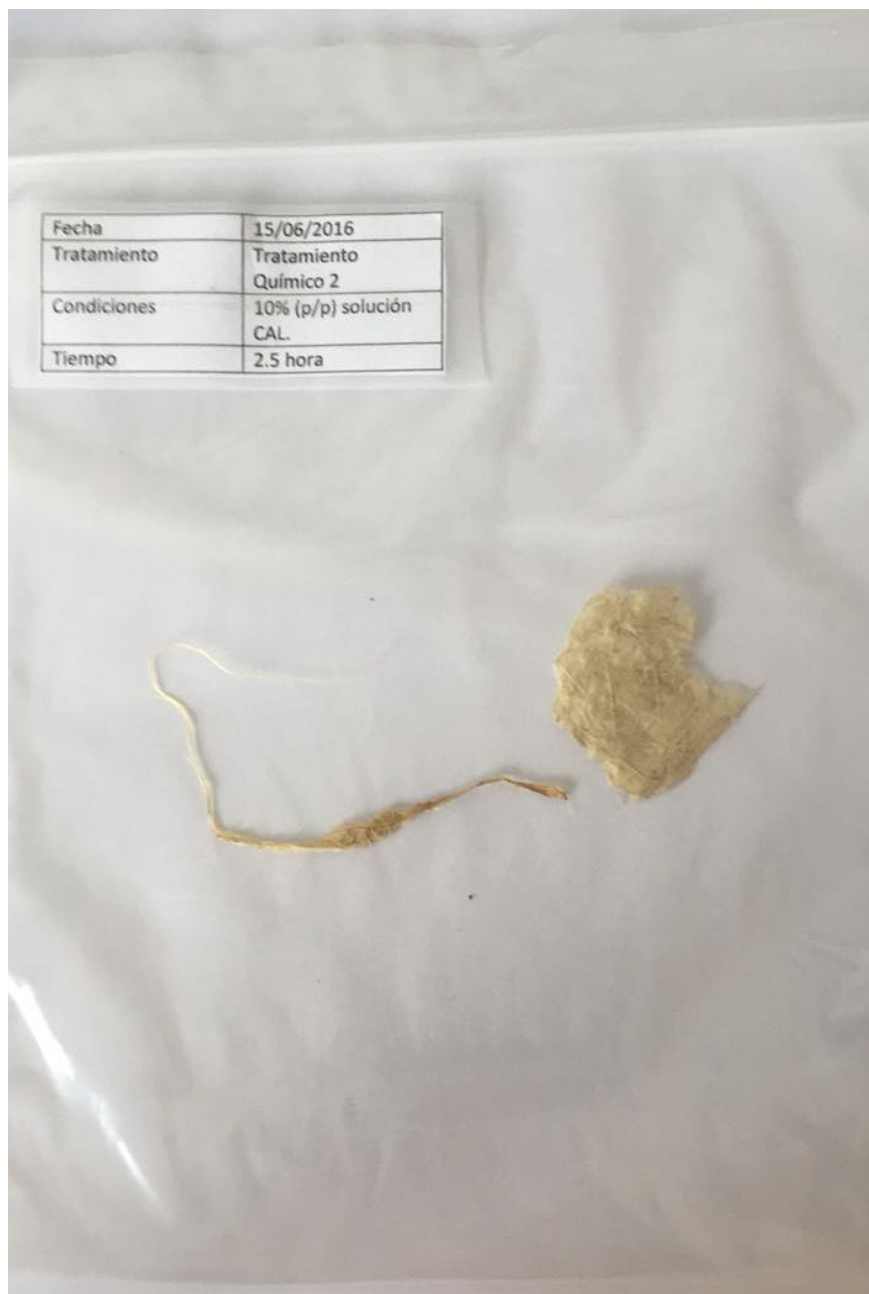


Ilustración 160. Tratamiento químico 2, proceso de soda modificado 10% y mecánico, tiempo 3.0 hora, muestra de fibra después de método soda modificado y después de tratamiento mecánico.

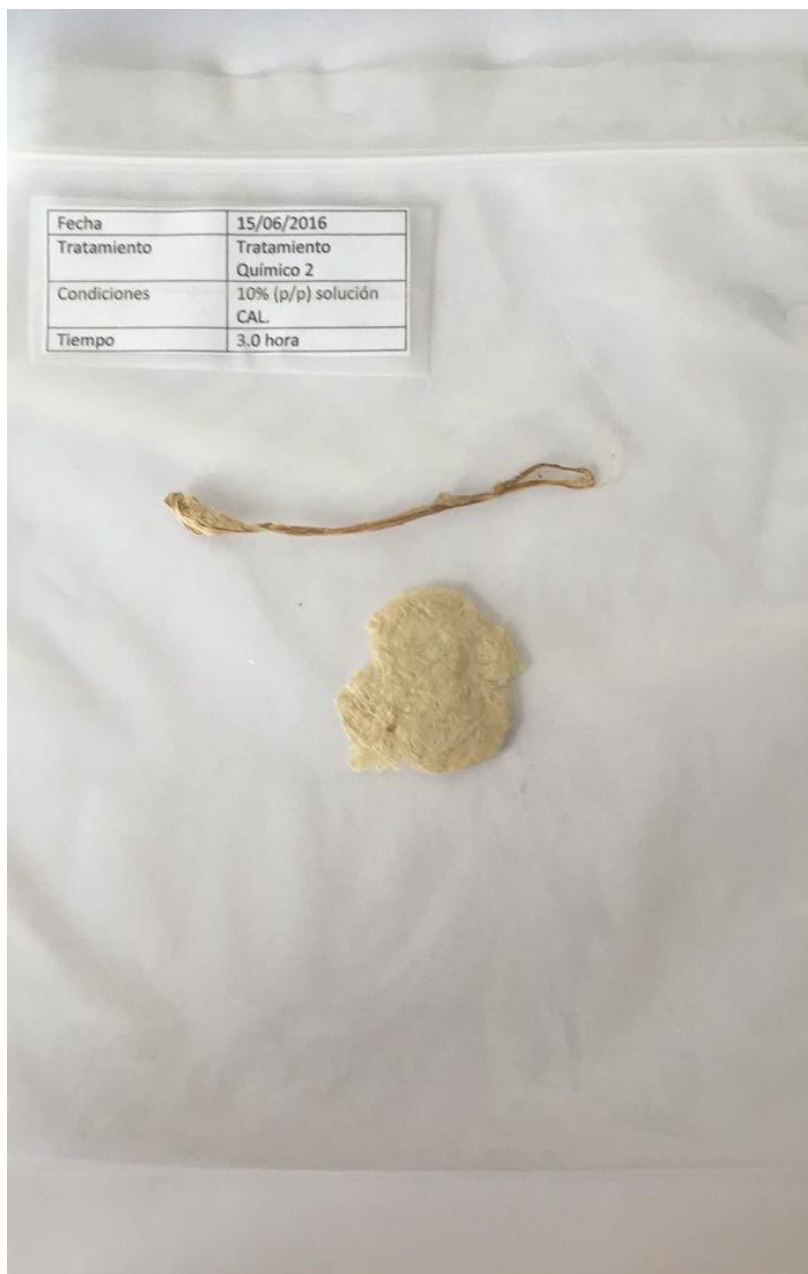


Ilustración 161. Tratamiento químico 2, proceso de soda modificado 10% y mecánico, tiempo 3.5 hora, muestra de fibra después de método soda modificado y después de tratamiento mecánico.

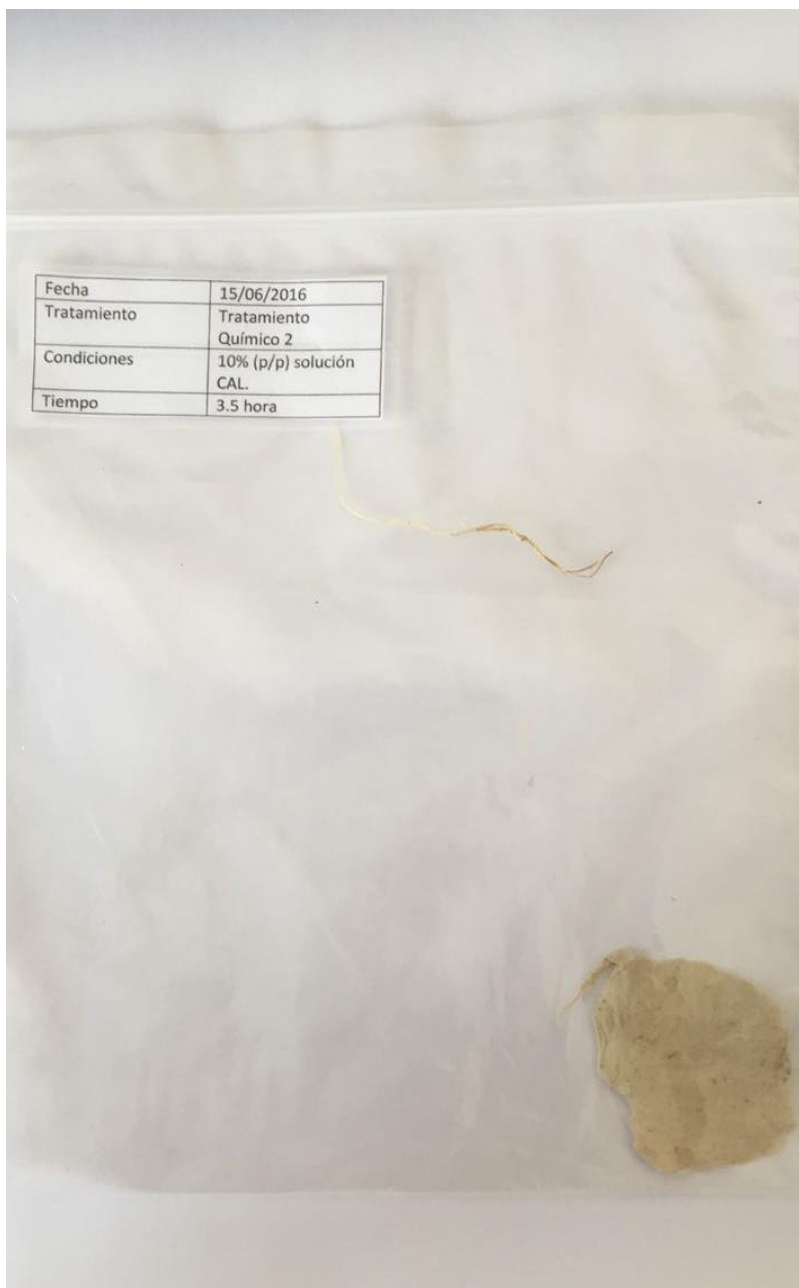


Ilustración 162. Tratamiento químico 2, proceso de soda modificado 10% y mecánico, tiempo 4.0 hora, muestra de fibra después de método soda modificado y después de tratamiento mecánico.

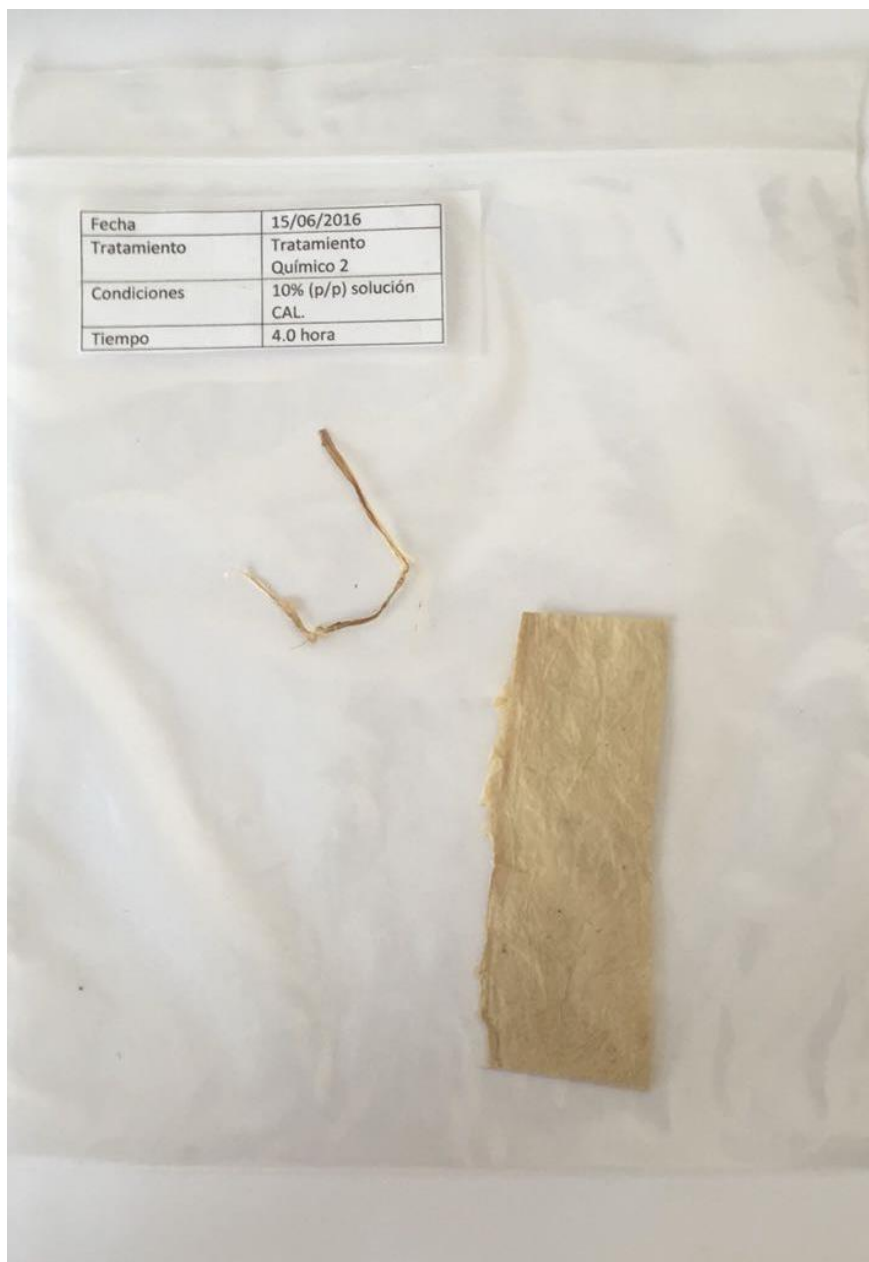


Ilustración 163. Tratamiento químico 2, proceso de soda modificado 5% y mecánico, tiempo 0.5 hora, muestra de fibra después de método soda modificado y después de tratamiento mecánico.

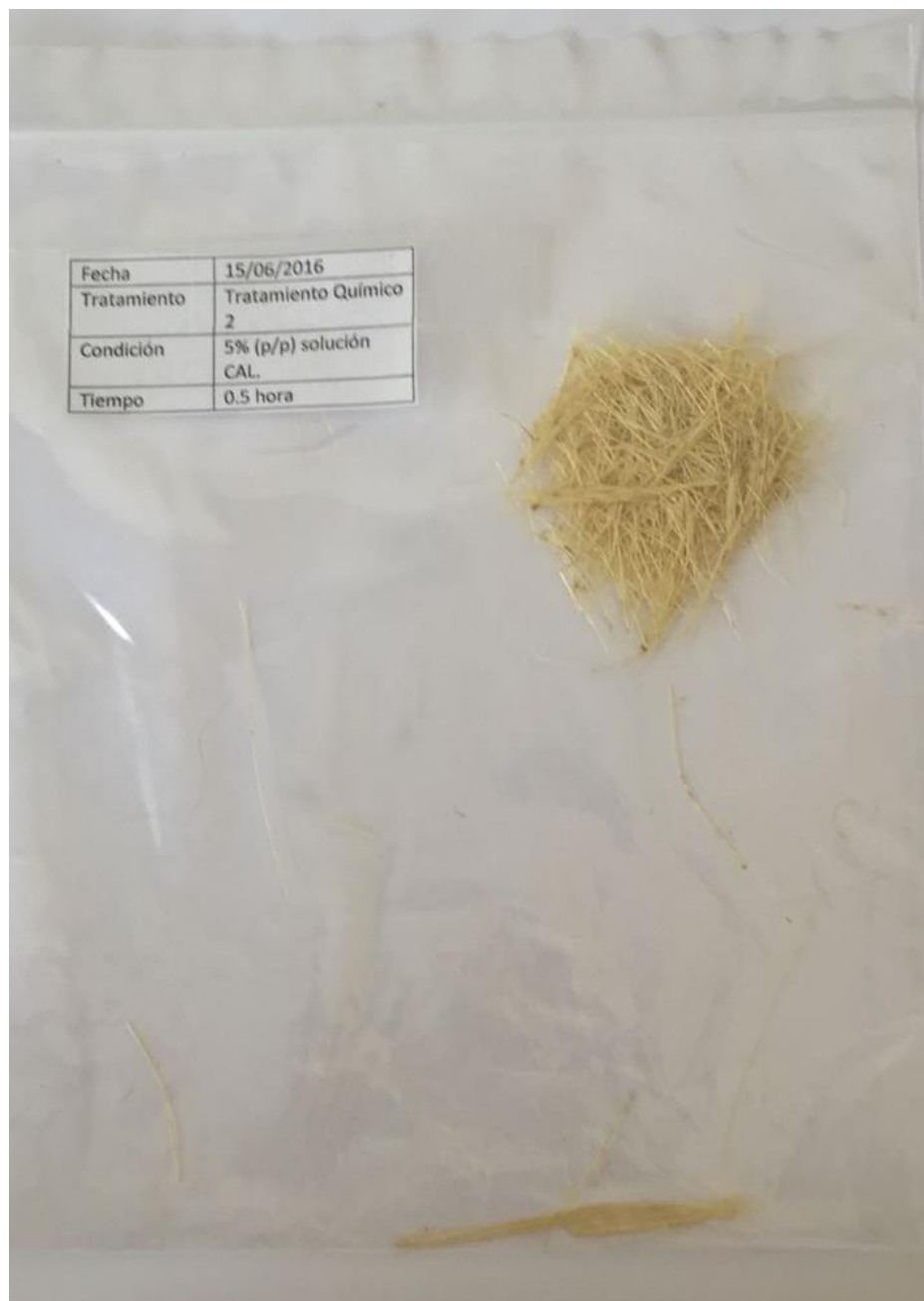


Ilustración 164. Tratamiento químico 2, proceso de soda modificado 5% y mecánico, tiempo 1.0 hora, muestra de fibra después de método soda modificado y después de tratamiento mecánico.

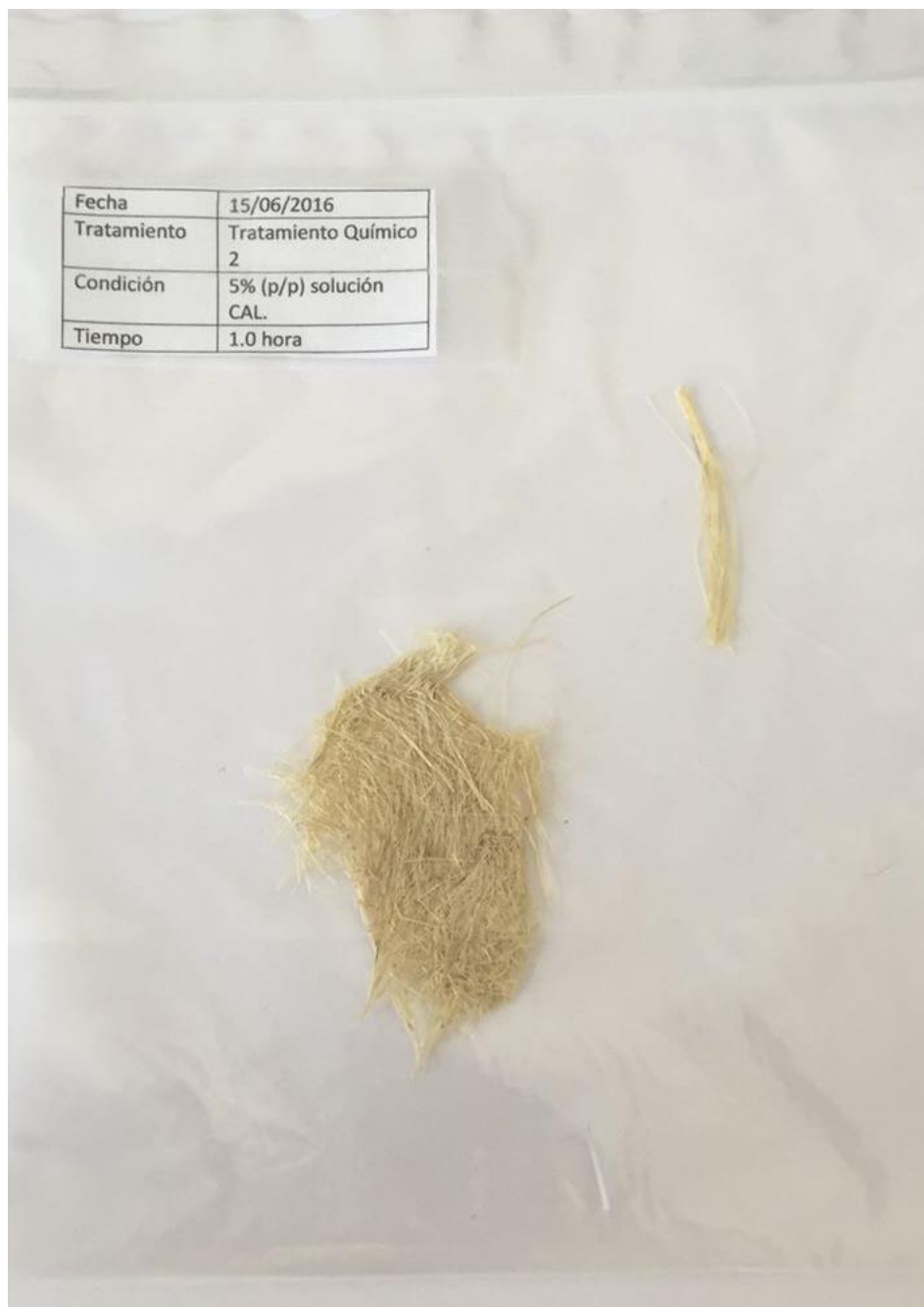


Ilustración 165. Tratamiento químico 2, proceso de soda modificado 5% y mecánico, tiempo 1.5 hora, muestra de fibra después de método soda modificado y después de tratamiento mecánico.

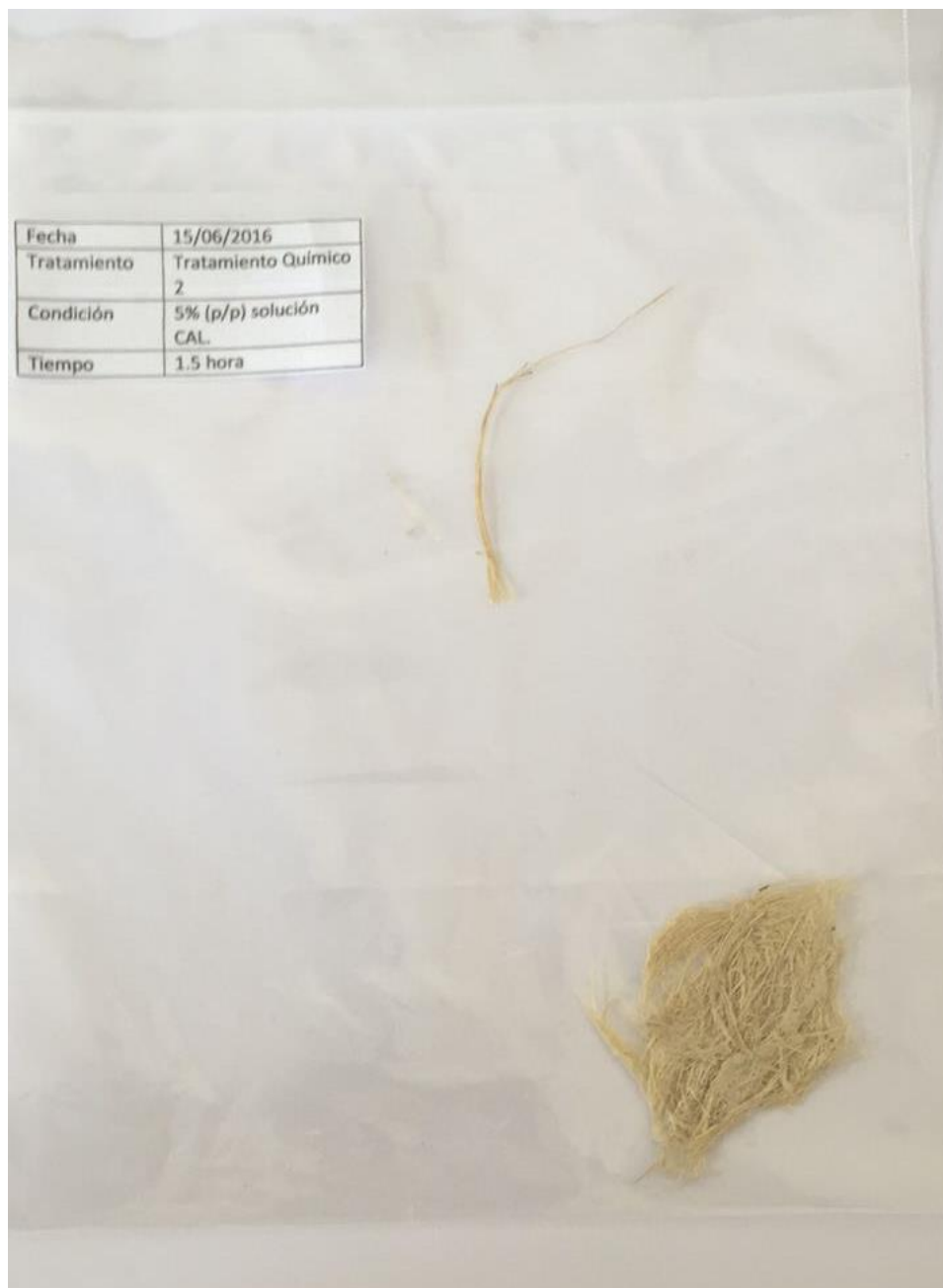


Ilustración 166. Tratamiento químico 2, proceso de soda modificado 5% y mecánico, tiempo 2.0 hora, muestra de fibra después de método soda modificado y después de tratamiento mecánico.

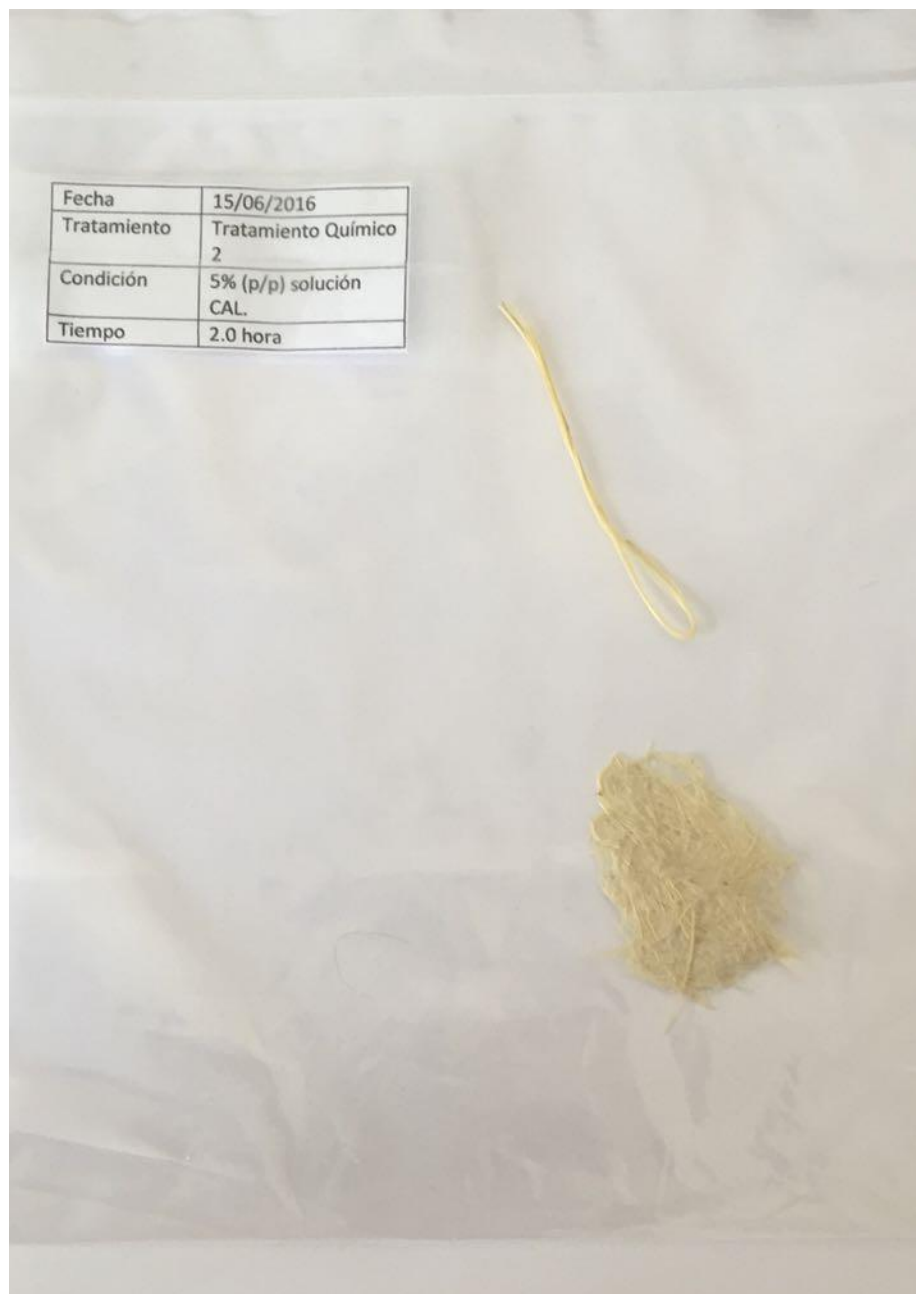


Ilustración 167. Tratamiento químico 2, proceso de soda modificado 5% y mecánico, tiempo 2.5 hora, muestra de fibra después de método soda modificado y después de tratamiento mecánico.

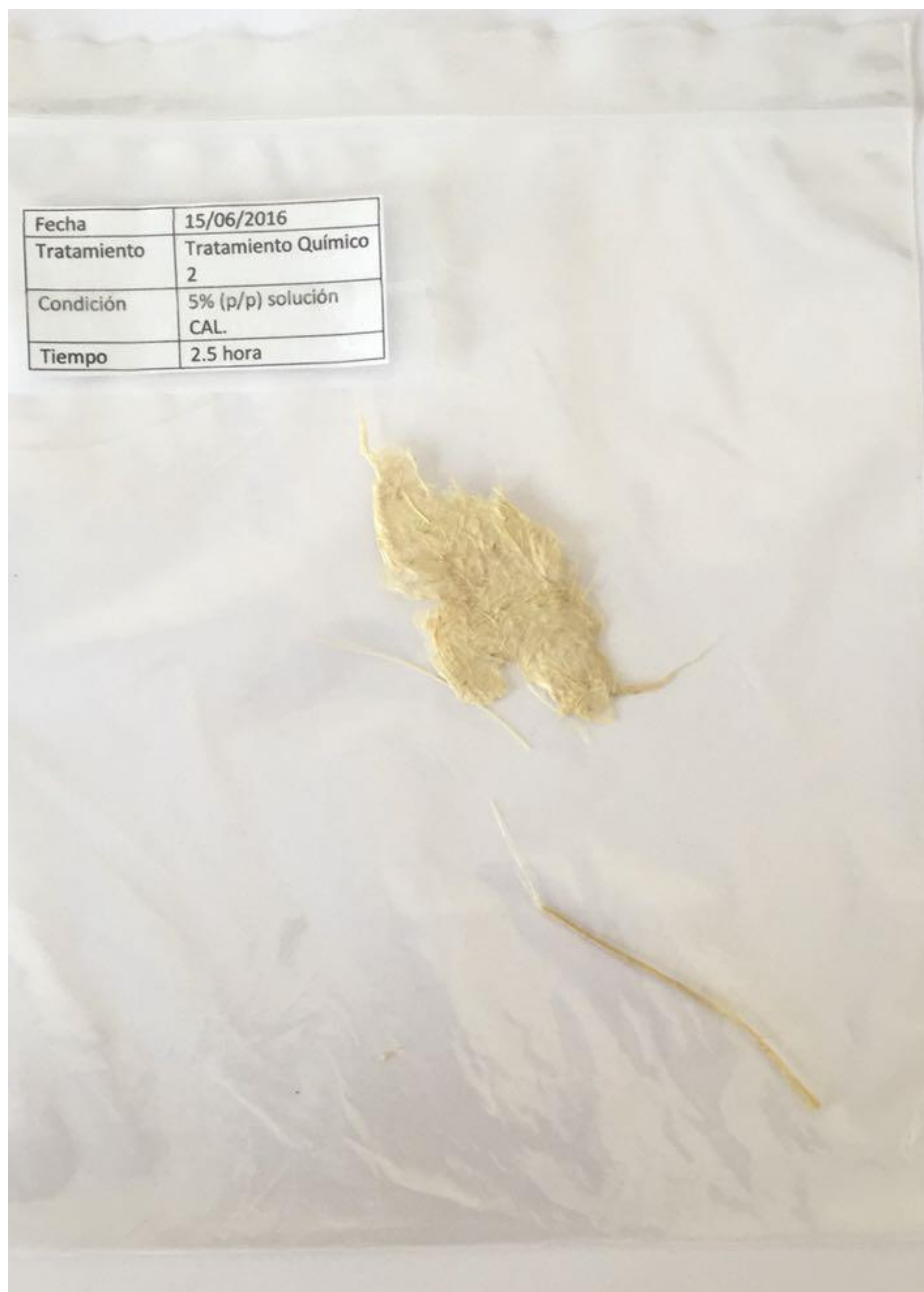


Ilustración 168. Tratamiento químico 2, proceso de soda modificado 5% y mecánico, tiempo 3.0 hora, muestra de fibra después de método soda modificado y después de tratamiento mecánico.

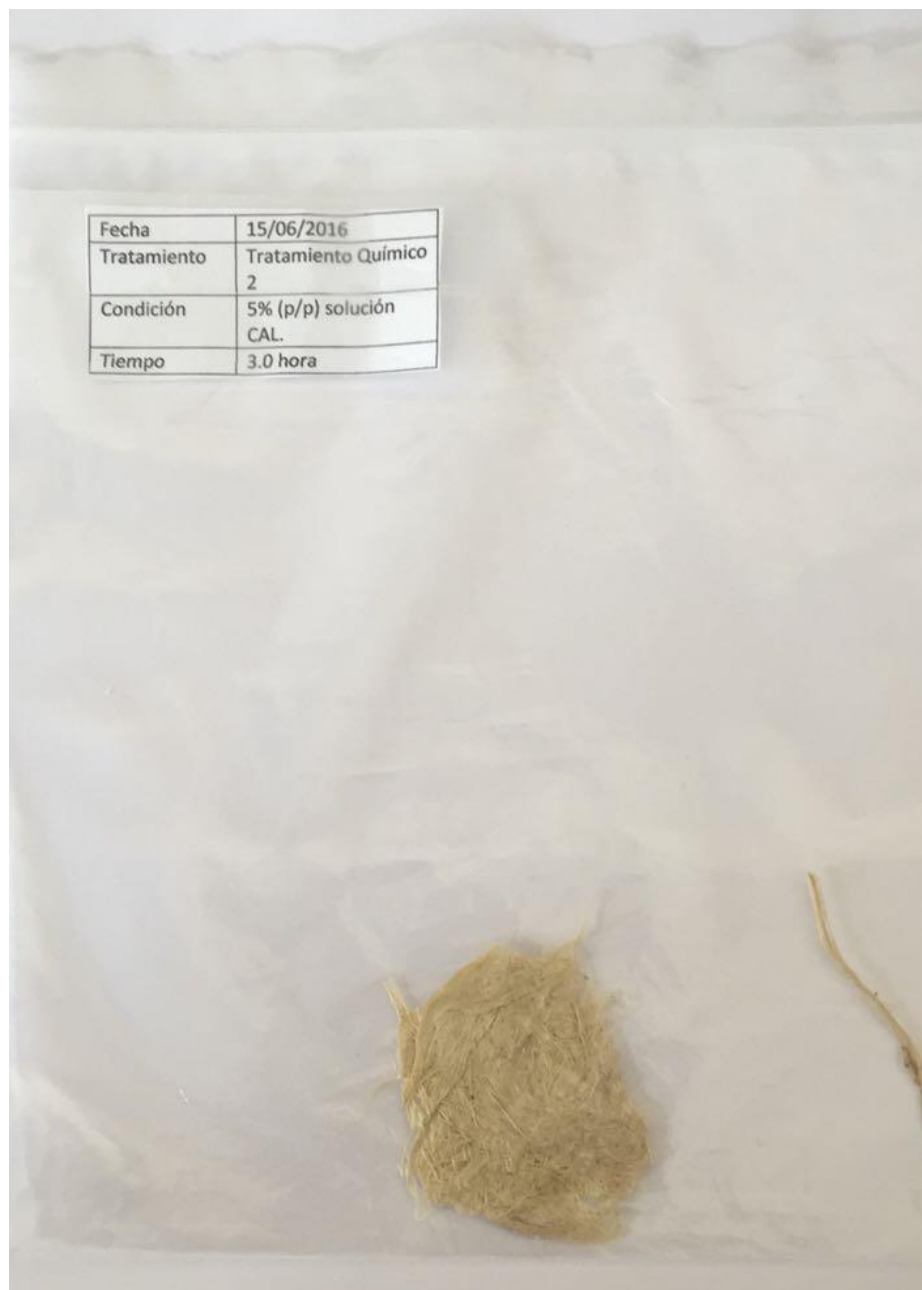


Ilustración 169. Tratamiento químico 2, proceso de soda modificado 5% y mecánico, tiempo 3.5 hora, muestra de fibra después de método soda modificado y después de tratamiento mecánico.

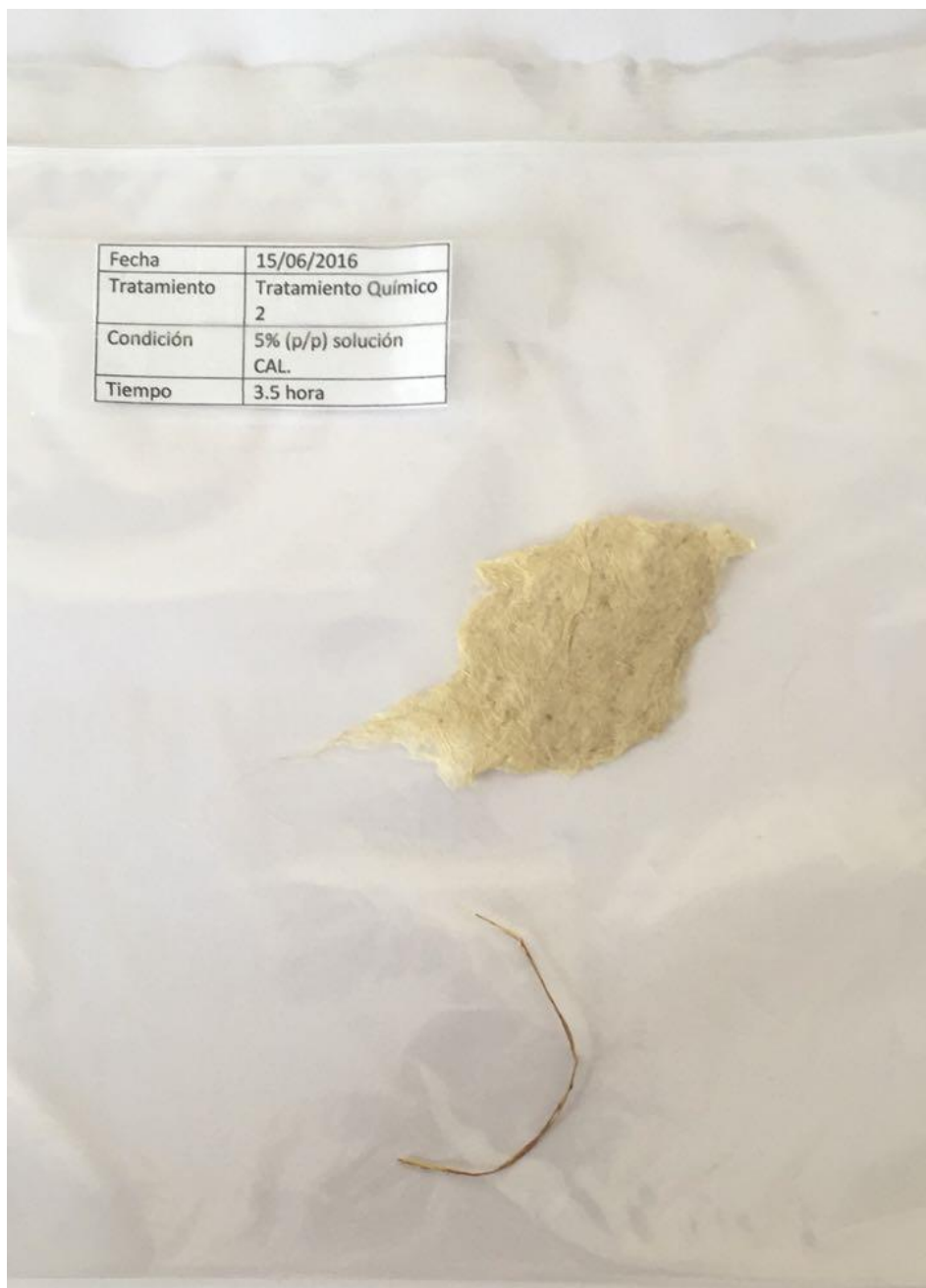


Ilustración 170. Tratamiento químico 2, proceso de soda modificado 5% y mecánico, tiempo 4.0 hora, muestra de fibra después de método soda modificado y después de tratamiento mecánico.

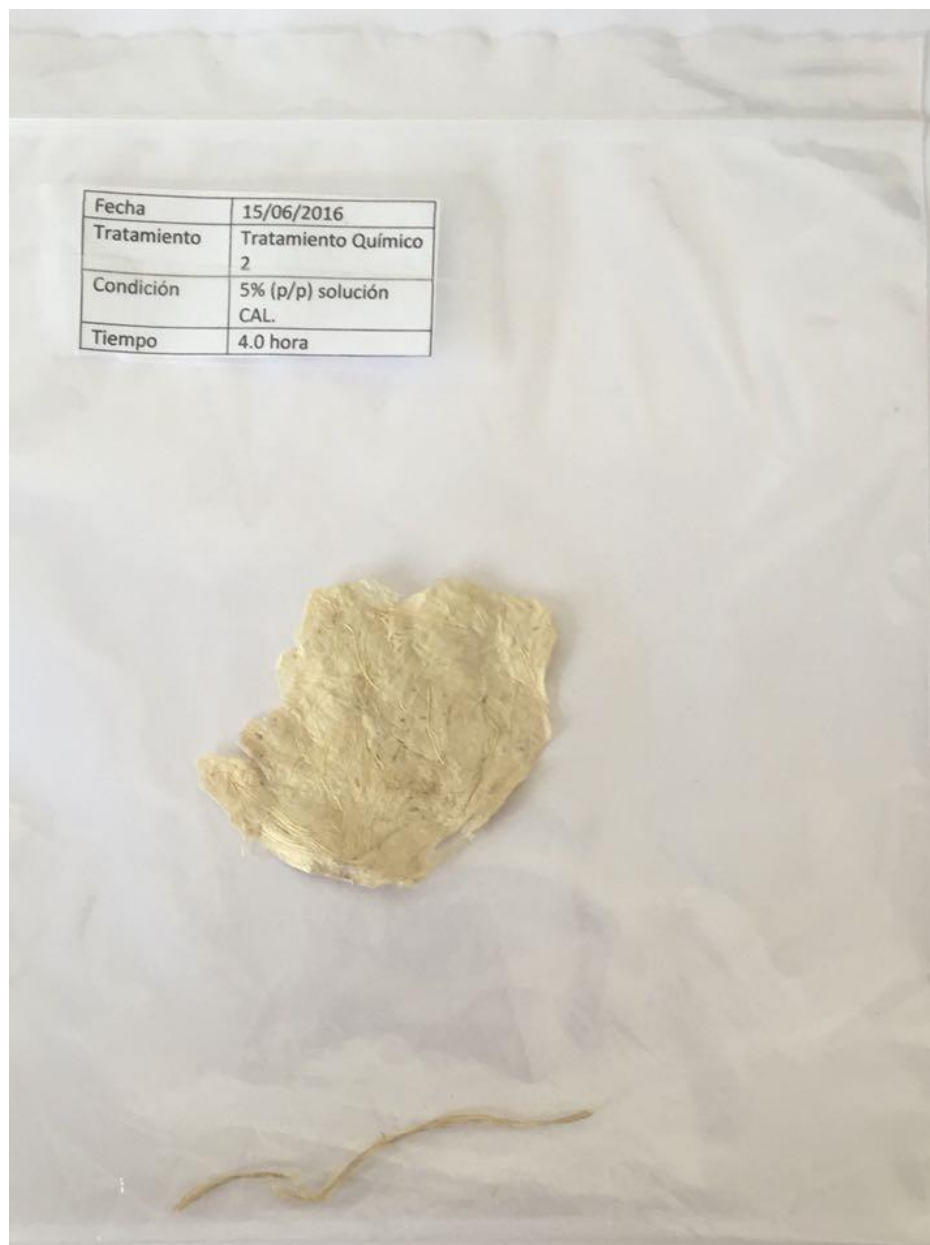


Ilustración 171. Pliego de bobina 19X14 in

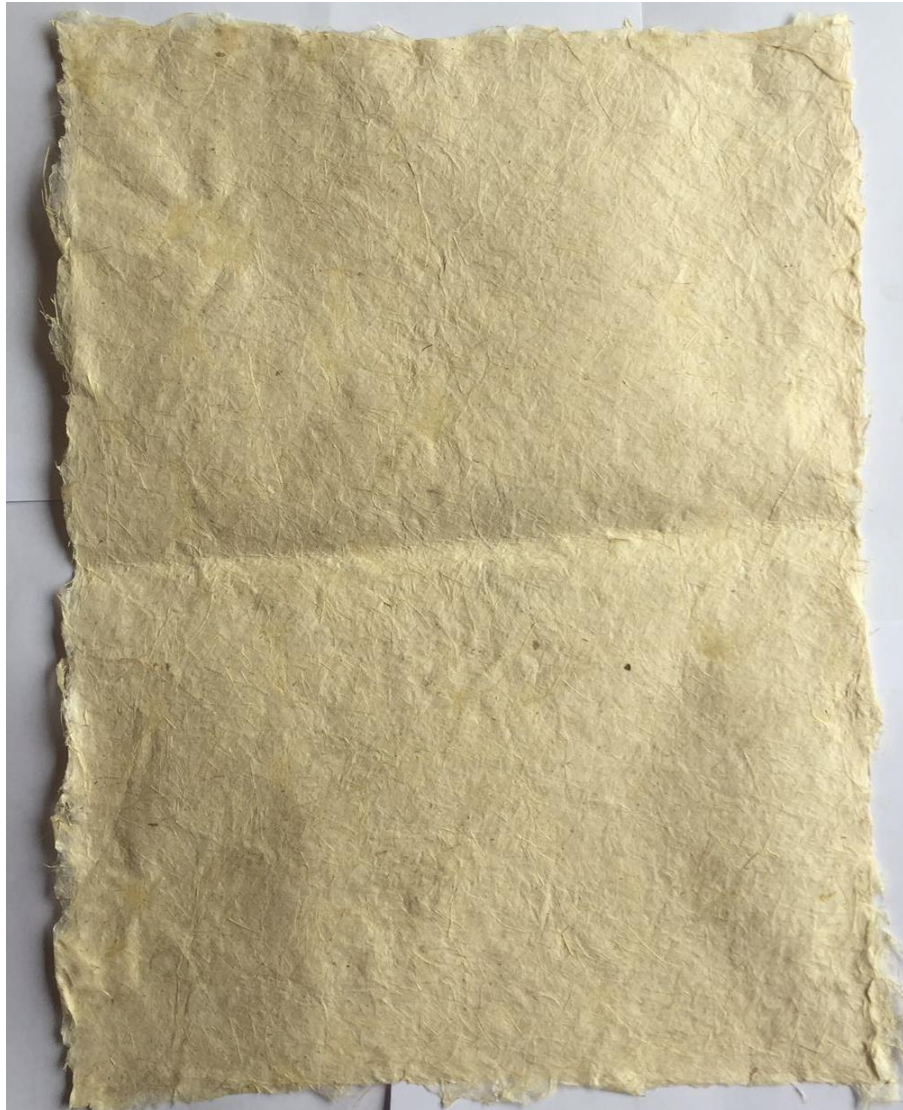


Ilustración 172. Primeros prototipos, cocidos a mano con fibra de pinzote de banano, sin perforaciones



Ilustración 173. Segundo prototipo, doble costura en la orilla con máquina plana, con perforaciones en la capa superior.



Ilustración 174. Segundo prototipo con alas, costura simple con máquina plana, con perforaciones en la capa superior.



Ilustración 175. Costura con máquina overlock



Ilustración 176. Elaboración de moldes con las dimensiones nuevas del prototipo final



Ilustración 177. Filtrado de solución con goma rabiga, solución Meds.



Ilustración 178. Adición de colorante y cloruro de sodio, solución Meds

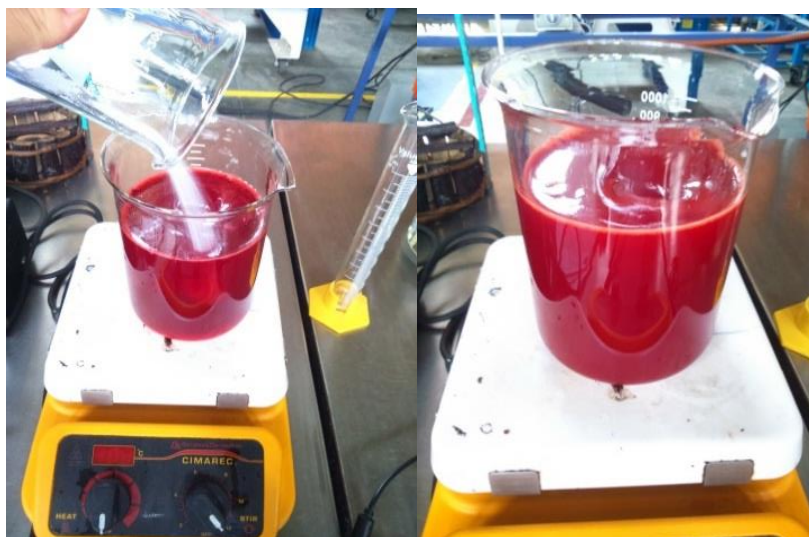


Ilustración 179. Sistema para realizar la prueba de capacidad de absorción de las toallas sanitarias.

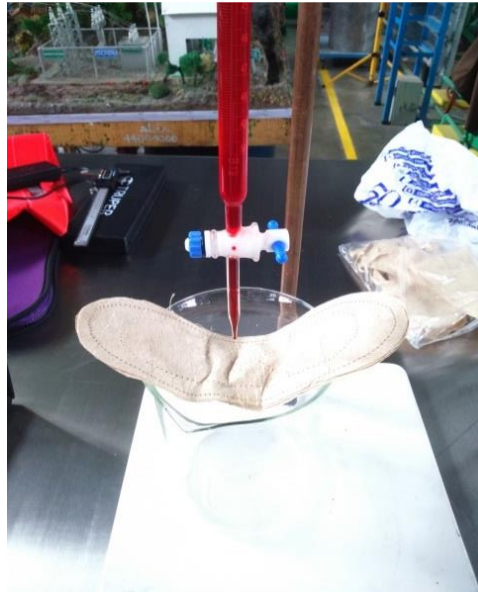


Ilustración 180. Prueba de capacidad de absorción de la toalla sanitaria, utilizando la solución Meds.



Ilustración 181. Parte inferior de la toalla sanitaria, después de realizar la prueba de capacidad de absorción utilizando la solución Meds.



Ilustración 182. Muestras utilizadas para realizar las pruebas de velocidad y factor de capacidad de absorción, toallas sanitarias lote 1 y comerciales.



Ilustración 183. Medición del tiempo para la prueba de velocidad de absorción, toalla sanitaria lote 1.



Ilustración 184. Medición de pH de las toallas sanitarias a partir de pliegos de fibra extraída del pinzote de banano.



Ilustración 185. Sistemas de biodegradabilidad para las toallas sanitarias



(22 julio 2016; Laboratorio de Ingeniería Química, edificio E, UVG)

Ilustración 186. Remoción de tierra en las muestras extraídas con una solución de agua y etanol.



Ilustración 187. Degradación de la toalla sanitaria en un periodo de 80 días de ser enterrada, muestra 1 del primer lote.



Día 30

22 julio 2016



Día 60

23 agosto 2016



Día 80

13 septiembre 2016

(Laboratorio de Ingeniería Química, edificio E, UVG)

Ilustración 188. Degradación de la toalla sanitaria en un periodo de 80 días de ser enterrada, muestra 2 del primer lote.



Día 30

22 julio 2016



Día 60

23 agosto 2016



Día 80

13 septiembre 2016

(Laboratorio de Ingeniería Química, edificio E, UVG)

Ilustración 189. Degradación de la toalla sanitaria en un periodo de 80 días de ser enterrada, muestra 3 del primer lote.



Día 30

22 julio 2016



Día 60

23 agosto 2016



Día 80

13 septiembre 2016

(Laboratorio de Ingeniería Química, edificio E, UVG)

Ilustración 190. Degradación de la toalla sanitaria en un periodo de 80 días de ser enterrada, muestra 1 del segundo lote.



Día 30  
22 julio 2016



Día 60  
23 agosto 2016



Día 80  
13 septiembre 2016

(Laboratorio de Ingeniería Química, edificio E, UVG)

Ilustración 191. Degradación de la toalla sanitaria en un periodo de 80 días de ser enterrada, muestra 2 del segundo lote.



Día 30  
22 julio 2016



Día 60  
23 agosto 2016



Día 80  
13 septiembre 2016

(Laboratorio de Ingeniería Química, edificio E, UVG)

Ilustración 192. Degradación de la toalla sanitaria en un periodo de 80 días de ser enterrada, muestra 1 del tercer lote.



Día 30  
22 julio 2016



Día 60  
23 agosto 2016



Día 80  
13 septiembre 2016

(Laboratorio de Ingeniería Química, edificio E, UVG)

Ilustración 193. Degradación de una toalla sanitaria comercial en un periodo de 80 días de ser enterrada.



Día 30  
22 julio 2016



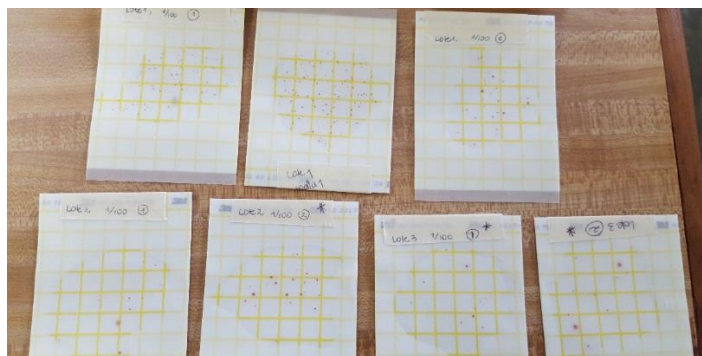
Día 60  
23 agosto 2016



Día 80  
13 septiembre 2016

(Laboratorio de Ingeniería Química, edificio E, UVG)

Ilustración 194. Placas petrifilm de las pruebas microbiológicas realizadas para las muestras del lote 1, 2 y 3.



## L. Información reglamentaria

Ilustración 195. Información reglamentaria del hidróxido de sodio, parte 1



	<b>FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD</b>	Página 1 de 6
<b>HIDRÓXIDO DE SODIO (NaOH)</b>		
<b>1. IDENTIFICACION DE LA SUSTANCIA O PREPARADO Y DE LA EMPRESA</b>		
<b>Nombre Comercial</b>	:Hidróxido de Sodio	
<b>Sinónimos</b>	: Sosa Cáustica, Soda cáustica	
<b>Formula Química</b>	: NaOH	
<b>Peso Molecular</b>	: 39,99713 g/mol	
<b>Uso</b>	: Fabricación de papel, tejidos, y detergentes.	
<b>Identificación de la Empresa</b>	: Pontificia Universidad Javeriana www.javerianacali.edu.co	
<b>Número Telefónico</b>	: PBX. (572) 321 8200 – 711: Emergencias Médicas 555: Servicios Generales	
<b>2. IDENTIFICACION DE LOS PELIGROS</b>		
<b>Identificación de Riesgos</b>	VENENOSO! PELIGRO! CORROSIVO. Puede ser mortal si se ingiere. PERJUDICIAL si se inhala. Provoca quemaduras en un área de contacto. Reacciona con agua, ácidos y otros materiales.	
<b>Síntomas relacionados con la exposición</b>		
- <b>Inhalación</b>	: Irritante Severo: Efectos de la inhalación de polvo o niebla varían desde una irritación leve de daño grave del tracto respiratorio superior, dependiendo de la severidad de la exposición. Los síntomas pueden incluir estornudos, dolor de garganta o la nariz que moquea. Puede ocurrir Neumonitis severa.	
- <b>Contacto con los ojos</b>	: Corrosivo! Causa irritación de los ojos, y con mayor exposición puede causar quemaduras que pueden dar lugar al deterioro permanente de la visión, incluso ceguera.	
- <b>Contacto con la piel</b>	: Corrosivo! El Contacto con la piel puede causar irritación o quemaduras graves y cicatrices con una mayor exposición.	

Ilustración 196. Información reglamentaria del hidróxido de sodio, parte 2

	<b>FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD</b>	Página 2 de 6
<b>HIDRÓXIDO DE SODIO (NaOH)</b>		

### 3. COMPOSICIÓN / INFORMACIÓN SOBRE LOS COMPONENTES

Nombre del Componente	Porcentaje p/p	C.A.S
Hidróxido de Sodio	99 a 100%	1310-73-2

### 4. PRIMEROS AUXILIOS

Primeros Auxilios	
- Inhalación	: Trasladar al aire fresco. Si no respira, dar respiración artificial. Si la respiración es difícil, dar oxígeno. Conseguir atención médica.
- Contacto con los ojos	: Lavar los ojos inmediatamente con abundante agua durante al menos 15 minutos, abriendo y cerrando los párpados ocasionalmente. Conseguir atención médica inmediatamente.
-Contacto con la piel	: En caso de contacto, limpie el exceso de material de la piel luego lave inmediatamente la piel con abundante agua durante al menos 15 minutos. Quitese la ropa y zapatos contaminados. Lave la ropa y los zapatos antes de usarlos nuevamente. Conseguir atención médica.
-Ingestión	: <b>NO inducir el vómito!</b> Dar grandes cantidades de agua o leche si está disponible. No dar nada por boca a una persona inconsciente. Obtenga atención médica inmediatamente.

### 5. MEDIDAS DE LUCHA CONTRA INCENDIOS

Tipo de inflamabilidad	: No inflamable
Productos peligrosos de la combustión	: N.D.
Prevención	: Puede reaccionar con ciertos metales, como aluminio, para generar gas hidrógeno inflamable.
Medios de extinción de incendios	: Use cualquier medio apropiado para extinguir el fuego circundante. La adición de agua a la solución cáustica genera grandes cantidades de calor.
Protección en caso de incendio	: Protección de la piel observando una distancia de seguridad

Ilustración 197. Información reglamentaria del hidróxido de sodio, parte 3



	<b>FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD</b>	<b>Página 3 de 6</b>
<b>HIDRÓXIDO DE SODIO (NaOH)</b>		
<b>6. MEDIDAS EN CASO DE VERTIDO ACCIDENTAL</b>		
<b>Precauciones generales</b>	: Líquido corrosivo. Líquido venenoso. Detener la fuga si no hay riesgo. Absorber con tierra SECA, arena o incombustibles otro material. No introducir agua en el contenedor. No toque el material derramado.	
<b>Métodos de Limpieza</b>	Diluir con el agua y limpiar, o absorber con un material inerte seco y colocar en un recipiente apropiado para desechos Si es necesario: Neutralizar el residuo con una solución diluida de ácido acético.	
<b>Precauciones para el medio ambiente</b>	Evite la entrada en alcantarillas, sótanos o áreas cerradas; si es necesario. Neutralizar el residuo con una solución diluida de ácido acético.	
<b>7. MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO</b>		
<b>General</b>		
<b>Medidas de protección técnicas</b>		
<b>Almacenamiento</b>	: Mantenga el recipiente bien cerrado. Mantenga el recipiente en lugar fresco y bien ventilado	
<b>Manipulación</b>	: No ingerir. No respirar los gases / humos / vapores / aerosoles. No añadir agua a este producto. En caso de ventilación insuficiente, use equipo respiratorio adecuado. En caso de ingestión, acuda inmediatamente al médico y muéstrele el recipiente o la etiqueta. Evite el contacto con la piel y los ojos. Mantener alejado de sustancias incompatibles tales como agentes oxidantes, agentes reductores, metales, ácidos, álcalis, humedad	
<b>8. CONTROLES DE LA EXPOSICIÓN / PROTECCIÓN PERSONAL</b>		
<b>Protección personal</b>		
<b>- Protección de las vías respiratorias</b>	: Ventilación y/o protección respiratoria.	
<b>- Protección de las manos y cuerpo</b>	: Guantes de látex desechables, bata de laboratorio	

Ilustración 198. Información reglamentaria del hidróxido de sodio, parte 4

<b>HIDRÓXIDO DE SODIO (NaOH)</b>	
- Protección para la piel	: Utilizar ropa de trabajo adecuada que evite el contacto del producto
- Protección para los ojos	: Gafas químicas o gafas de seguridad. Mantener una ducha de emergencia visible y de fácil acceso al área de trabajo.
- Ingestión	: No comer, no beber y no fumar durante el trabajo.
-Medidas de higiene particulares	: sustituir la ropa contaminada y sumergir en agua. Lavar las manos al termino del trabajo
- Control de exposición	:
-Parámetros de Exposición	
-TLV-TWA (ppm) (mgr/m3):	: N.D
-TLV-STEL (ppm) (mgr/m3):	: N.D.
-TLV-C (ppm):	: N.D.
<b>9. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS</b>	
Estado físico a 20°C	:Sólido
Color	: Incoloro, transparente.
Olor	:Inodoro
Punto de fusión [°C]	: 323 °C
Punto de ebullición [°C]	: 1390 °C
Densidad	: 2,1 g/cm <sup>3</sup>
pH	: 13 a 14 (0,5% disoln.)
Solubilidad en agua	: 111 g/100 ml (20 °C)
Límites de explosión - Inferior [%]	: N.A.
Límites de explosión - Superior [%]	: N.A.
Peso Molecular	: 39,99713 g/mol
<b>10. ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD</b>	
Estabilidad y reactividad	: Estable e condiciones normales de manipulación y almacenamiento. Puede recoger lentamente la humedad del aire y reacciona con dióxido de carbono del aire para formar carbonato de sodio.
Productos de descomposición	: Óxido del sodio. La descomposición por reacción con ciertos metales libera gas hidrógeno explosivo e inflamable.
Incompatibilidades :	: El hidróxido de sodio en contacto con ácidos y compuestos orgánicos halogenados, especialmente el tricloroetileno, puede provoca reacciones violentas. El contacto con nitrometano y otros compuestos nitro similares provoca la formación de sales sensibles al choque. El contacto con metales como el aluminio, magnesio, estaño, zinc puede provocar la formación de gas hidrógeno inflamable. El

Ilustración 199. Información reglamentaria del hidróxido de sodio, parte 5



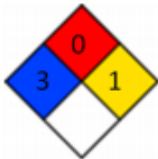

<b>HIDRÓXIDO DE SODIO (NaOH)</b>	
	hidróxido de sodio, aunque bastante diluido, reacciona fácilmente con varios azúcares para producir monóxido de carbono.
<b>Condiciones a evitar</b>	: Humedad, polvo e incompatibles.
<b>11. INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA</b>	
<b>Toxicidad</b>	Los datos de irritación: piel, conejo: 500 mg/24H grave; ojo de conejo: 50 ug/24H grave; investigado como un mutágeno
<b>Sensibilidad al producto</b>	
<b>12. INFORMACIÓN ECOLÓGICA</b>	
<b>Información sobre efectos ecológicos</b>	N.D.
<b>13. CONSIDERACIONES RELATIVAS A LA ELIMINACIÓN</b>	
<b>General</b>	Cualquier cantidad que no pueda salvarse por recuperado o reciclado debe manejarse en una instalación de eliminación de residuos apropiada y aprobada. El procesamiento, uso o contaminación de este producto puede cambiar las opciones del manejo de residuos. Las regulaciones de eliminación departamental pueden diferir de las regulaciones de eliminación nacional. Deseche el envase y no use el residuo.
<b>14. INFORMACIÓN RELATIVA AL TRANSPORTE</b>	
<b>Transporte terrestre (ADR/TPC - RID/TPF)</b>	
<b>- Denominación para el transporte</b>	HIDROXIDO DE SODIO, SOLID
<b>- N° ONU</b>	UN1823
<b>- N° Riesgo</b>	
<b>- ADR - Clase</b>	8
<b>- Etiquetado según ADR</b>	

Ilustración 200. Información reglamentaria del hidróxido de sodio, parte 6

Pontificia Universidad <b>JAVERIANA</b> <small>Cali</small>		<b>SEGURIDAD</b>
<b>HIDRÓXIDO DE SODIO (NaOH)</b>		
- ADR - División		
- ADR - Grupo	II	
- Cantidad limitada ADR		
Transporte marítimo (IMDG)		HIDROXIDO DE SODIO, SOLID
- Denominación para el transporte		
- N° ONU	UN1823	
- IMO-IMDG - Clase	8	
- IMO-IMDG - Etiqueta		
- IMO-IMDG - Grupo	II	
- EmS N°		
<b>15. INFORMACIÓN REGLAMENTARIA</b>		
-Símbolos -Clasificación según la norma NFPA 704	<div style="display: flex; align-items: center;">  <div style="margin-left: 20px;">  </div> </div> <p style="text-align: center;"><b>CORROSIVO</b></p> <p>Peligro a la salud = 3; Peligro de Inflamabilidad = 0;            Peligro de Reactividad = 1.</p> <p><b>Frases S:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-S26 En caso de contacto con los ojos, lávelos inmediatamente con abundante agua y buscar atención médica.</li> <li>-S37 Usen guantes adecuados.</li> <li>-S39 Úsese protección para ojos y cara.</li> <li>-S45 En caso de accidente o malestar, acuda inmediatamente al médico (mostrar la etiqueta siempre que sea posible.)</li> </ul>	
<b>16. OTRA INFORMACIÓN</b>		
Información adicional	: Ninguno/a.	

Fin del Documento

Ilustración 201. Información reglamentaria del hidróxido de calcio, parte 1

 Pontificia Universidad <b>JAVERIANA</b> Cali	<b>FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD</b>
<b>HIDRÓXIDO DE CALCIO (Ca(OH)<sub>2</sub>)</b>	

### 1. IDENTIFICACION DE LA SUSTANCIA O PREPARADO Y DE LA EMPRESA

Nombre Comercial	: Hidróxido de Calcio
Sinónimos	: Cal muerta, Cal apagada
Formula Química	: Ca(OH) <sub>2</sub>
Peso Molecular	: 74,093 g/mol
Uso	: Floculante, para el tratamiento de aguas residuales y mejoramiento de tierras ácidas Ingrediente para hacer mortero y yeso Reactivo químico
Identificación de la Empresa	: Pontificia Universidad Javeriana www.javerianacali.edu.co
Número Telefónico	: PBX. (572) 321 8200 – 711: Emergencias Médicas 555: Servicios Generales


### 2. IDENTIFICACION DE LOS PELIGROS

Identificación de Riesgos	La sustancia es muy corrosiva a los ojos, la piel y el tracto respiratorio. Corrosivo por ingestión.
Síntomas relacionados con la exposición	
- Inhalación	: Corrosivo. Sensación de quemazón, tos, dificultad respiratoria.
- Contacto con los ojos	: Corrosivo. Enrojecimiento, dolor, visión borrosa, quemaduras profundas, graves.
- Contacto con la piel	: Corrosivo. Enrojecimiento, graves quemaduras cutáneas, dolor.
- Ingestión	: Corrosivo. Dolor abdominal, sensación de quemazón, diarrea, vómitos, colapso.

### 3. COMPOSICIÓN / INFORMACIÓN SOBRE LOS COMPONENTES

Nombre del Componente	Porcentaje	C.A.S
Hidróxido de Calcio Ca(OH) <sub>2</sub> (cal en pasta)		1305-62-0

Ilustración 202. Información reglamentaria del hidróxido de calcio, parte 2

 Pontificia Universidad <b>JAVERIANA</b> Cali	<b>FICHA DE DATOS DE          SEGURIDAD</b>	Página 2 de 6
		<b>HIDRÓXIDO DE CALCIO (Ca(OH)<sub>2</sub>)</b>

#### 4. PRIMEROS AUXILIOS

Primeros Auxilios	
- Inhalación	: Retírelo de la exposición, muévelo inmediatamente al aire fresco. Mantenga a la persona afectada cubierta, caliente y descansada. Obtenga atención médica.
- Contacto con los ojos	: Lave los ojos inmediatamente con grandes cantidades de agua, levantando ocasionalmente los párpados superior e inferior, hasta que no quede rastro alguno del químico (Aproximadamente de 15-20 minutos). Obtenga atención médica inmediatamente.
-Contacto con la piel	: Quite inmediatamente la ropa y el calzado contaminados. Lave el área afectada con jabón y agua, o con un detergente suave y grandes cantidades de agua hasta que no quede rastro alguno del químico (aproximadamente de 15 a 20 minutos) En el caso de quemaduras químicas, cubra el área afectada con gasa seca estéril. Aplique vendaje firme no muy apretado. Obtenga atención Médica.
-Ingestión	: Beber agua abundante. Provocar el vómito. Pedir atención médica.

#### 5. MEDIDAS DE LUCHA CONTRA INCENDIOS

Tipo de inflamabilidad	: No inflamable
Productos peligrosos de la combustión	: N.A.
Prevención	: El hidróxido de calcio no es combustible. Evitar el contacto con metales, combustibles y humedad. Mantener los contenedores cerrados. Los equipos eléctricos, de iluminación y ventilación deben ser a prueba de explosión y resistentes a la corrosión.
Medios de extinción de incendios	: En caso de incendio en el entorno, están permitidos todos los agentes extintores.
Fuegos vecinos	:
Instrucciones en caso de incendio	: No permitir el paso del agua de extinción a acuíferos superficiales o subterráneos.

Ilustración 203. Información reglamentaria del hidróxido de calcio, parte 3

	<b>FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD</b>	
<b>HIDRÓXIDO DE CALCIO (Ca(OH)<sub>2</sub>)</b>		
<b>6. MEDIDAS EN CASO DE VERTIDO ACCIDENTAL</b>		
<b>Precauciones generales</b>	: Eliminar los posibles puntos de ignición y ventilar la zona. No fumar. Evitar respirar los vapores. Equipar el personal de limpieza con los implementos de seguridad y materiales adecuados. Respirador para partículas nocivas.	
<b>Métodos de Limpieza</b>	Recoger el vertido con materiales absorbentes no combustibles (tierra, arena, vermiculita, tierra de diatomeas...). Verter el producto y el absorbente en un contenedor adecuado. La zona contaminada debe limpiarse inmediatamente con un descontaminante adecuado. Echar el descontaminante a los restos y dejarlo durante varios días hasta que no se produzca reacción, en un envase sin cerrar en un lugar seguro.	
<b>Precauciones para el medio ambiente</b>	Evitar la contaminación de desagües, aguas superficiales o subterráneas, así como del suelo. En caso de producirse grandes vertidos o si el producto contamina lagos, ríos o alcantarillas, informar a las autoridades competentes, según la legislación local.	
<b>7. MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO</b>		
<b>General</b>	: Mantener lejos de fuentes de calor.	
<b>Medidas de protección técnicas</b>	: Usar siempre protección personal, mantener la higiene.	
<b>Almacenamiento</b>	: Rotular los recipientes adecuadamente, no almacenar en recipientes de metales ligeros. Almacenar en lugares ventilados, frescos y secos.	
<b>Manipulación</b>	: No coma, no beba, no fume mientras manipule este producto.	
<b>8. CONTROLES DE LA EXPOSICIÓN / PROTECCIÓN PERSONAL</b>		
<b>Protección personal</b>		
- Protección de las vías respiratorias	: En caso de formarse polvo, usar equipo respiratorio adecuado. Filtro P.	
- Protección de las manos y cuerpo	: Guantes de látex desechables, bata de laboratorio	


Ilustración 204. Información reglamentaria del hidróxido de sodio, parte 4

 <p>Pontificia Universidad <b>JAVERIANA</b> Cali</p>	<b>FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD</b>	<b>Página 4 de 6</b>
<b>HIDRÓXIDO DE CALCIO (Ca(OH)<sub>2</sub>)</b>		
- Protección para la piel	: Utilizar ropa de trabajo adecuada que evite el contacto del producto	
- Protección para los ojos	: Gafas químicas o gafas de seguridad. Mantener una ducha de emergencia visible y de fácil acceso al área de trabajo.	
- Ingestión	: No comer, no beber y no fumar durante el trabajo.	
-Medidas de higiene particulares	: sustituir la ropa contaminada y sumergir en agua. Lavar las manos al termino del trabajo	
- Control de exposición	:	
-Parámetros de Exposición	:	
-TLV-TWA (ppm) (mgr/m3):	: N.D	
-TLV-STEL (ppm) (mgr/m3):	: N.D.	
-TLV-C (ppm):	: N.D.	
<b>9. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS</b>		
Estado físico a 20°C	:Sólido	
Color	: Blanco en forma de polvo o cristalino.	
Olor	:Inodoro	
Punto de fusión [°C]	: -273,15 °C	
Punto de ebullición [°C]	: -273,15 °C	
Densidad	:2,211 g/cm <sup>3</sup>	
Densidad relativa en agua	:0.185g/100 cm <sup>3</sup>	
Limites de explosión - Inferior [%]	: N.A.	
Limites de explosión - Superior [%]	: N.A.	
Peso Molecular	: 74,093 g/mol	
<b>10. ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD</b>		
Estabilidad y reactividad	: Estable bajo temperaturas y presiones normales. El hidróxido de calcio va a absorber gradualmente el dióxido de carbono cuando es expuesto al aire, formando carbonato de calcio.	
Productos de descomposición	: Cuando se calienta por arriba de 580°C, el hidróxido de calcio pierde el agua y forma el óxido de calcio, o cal viva.	
Incompatibilidades :	: Anhídrido maléico, Nitroparafinas, nitrometano, nitroetano, y nitropropano; todos pueden formar sales explosivas con el hidróxido de calcio.	



Ilustración 205. Información reglamentaria del hidróxido de sodio, parte 5

<b>HIDRÓXIDO DE CALCIO (Ca(OH)<sub>2</sub>)</b>	
<b>11. INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA</b>	
<b>Toxicidad</b>	Irritaciones en mucosas, trastornos gastrointestinales, irritaciones en la piel, trastornos de visión, riesgo de ceguera (lesión irreversible del nervio óptico).
<b>Sensibilidad al producto</b>	La gravedad de las lesiones, el pronóstico de la intoxicación dependen directamente de la concentración y del tiempo de exposición al compuesto.
<b>12. INFORMACIÓN ECOLÓGICA</b>	
<b>Información sobre efectos ecológicos</b>	El producto es ecológicamente inocuo, por su alto pH, sin embargo se tiene que impedir la entrada de grandes cantidades no controladas a aguas subterráneas y superficiales.
<b>13. CONSIDERACIONES RELATIVAS A LA ELIMINACIÓN</b>	
<b>General</b>	No se permite su vertido en alcantarillas o cursos de agua. Los residuos y envases vacíos deben manipularse y eliminarse de acuerdo con las legislaciones local/nacional vigentes.
<b>14. INFORMACIÓN RELATIVA AL TRANSPORTE</b>	
<b>Transporte terrestre (ADR/TPC - RID/TPF)</b>	No está clasificado como mercancía peligrosa
- Denominación para el transporte	Hidróxido de Calcio
- N° ONU	
- N° Riesgo	
- ADR - Clase	
- Etiquetado según ADR	
- ADR - División	
- ADR - Grupo	
- Cantidad limitada ADR	
<b>Transporte marítimo (IMDG)</b>	
- Denominación para el transporte	
- N° ONU	
- IMO-IMDG - Clase	
- IMO-IMDG - Etiqueta	
- IMO-IMDG - Grupo	
- EmS N°	

Ilustración 206. Información reglamentaria del hidróxido de sodio, parte 6

	<b>FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD</b>	Página 6 de 6
<b>HIDRÓXIDO DE CALCIO (Ca(OH)<sub>2</sub>)</b>		

#### 15. INFORMACIÓN REGLAMENTARIA

<p>-Símbolos -Indicadores de Peligro -Clasificación según la norma NFPA 704</p>	 <b>Irritante</b>    Peligro a la salud = 1; Peligro de Inflamabilidad = 0; Peligro de Reactividad = 0.
	<p><b>Frases R:</b>          R34: Provoca quemaduras          R36: Irrita los ojos          R37: Irrita el sistema respiratorio          R38: Irrita la piel          R41: Peligro de daño ocular</p> <p><b>Frases S:</b>          S22: No respirar polvo          S26: En caso de contacto con los ojos, lavar con abundante agua. Acudir al médico.          S39: Usar protección facial/ocular.          S45: En caso de accidente o malestar acuda al médico.</p>

#### 16. OTRA INFORMACIÓN

<b>Información adicional</b>	: Ninguno/a.
------------------------------	--------------

## XIV. GLOSARIO

- A. Alveolos: Son vacíos llenos de aire encontrados en el cortex, proporcionan rigidez.
- B. Biomasa celulósica: Es la cantidad total de materia viva a partir de la celulosa contenida en las plantas.
- C. Celulosa: Es un homopolímero lineal con elevado peso molecular y grado de polimerización entre 200-10,000 unidades. Es el componente principal de las paredes celulares de los vegetales y el polímero mayoritario del planeta.
- D. Cilindro central: Parte más interna del pseudotallo donde se encuentra los tejidos conductores, sistema vascular.
- E. Cortex: Parte entre el cilindro central y epidermis del pseudotallo, es una estructura distribuida en anillos donde se encuentra el xilema y floema. Contiene alveolos, haces conductores liberoleñosos y largos haces de fibra.
- F. Epidermis: Parte más externa del pseudotallo compuesto por un tejido protector liso y pulido que adquiere pigmentación según su especie.
- G. Hemicelulosa: Es un componente de la pared celular y es un polímero corto ramificado de varios monosacáridos y de 5-6 carbonos.
- H. Liberoleñosos: El conjunto de floema y de células parenquimáticas en los tejidos conductores localizados en el cortex.
- I. Lignina: Es un componente de la pared celular y es un polímero abundante en las plantas, añade fuerza estructural y protege a los polisacáridos mediante una barrera resistente a la degradación.
- J. Meristema terminal: Son bulbos que salen del rizoma, forman los retoños.
- K. Pseudotallo: También conocido como falso tallo o pinzote, es carnoso y principalmente formado por agua. Es alargado, recto con bordes rectilíneos. Compuesto por un cilindro central, cortex y epidermis.
- L. Rizoma: Tallo del género musa, se encuentra soterrado.
- M. Vaina foliar: Hojas distribuidas en forma helicoidal que salen del meristema terminal.