



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

CAMPUS CALKINÍ

ANÁLISIS DEL TRATAMIENTO HIDROTÉRMICO EN EL PROCESADO ARTESANAL DE LAS FIBRAS DE JIPIJAPA EN BECAL, CAMPECHE

TESIS

Que presenta:

ING. RAÚL ALEJANDRO CHI MENA

Como requisito para obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
(BIOMATERIALES POLIMERICOS)**

Directores de tesis:

DR. LUIS HUMBERTO MAY HERNÁNDEZ

Calkiní, Campeche, México

03 DE MARZO DE 2023



Instituto Tecnológico Superior de Calkiní, en el Estado de Campeche.

Calkiní, Campeche a 27 de febrero de 2023.

El Comité de tesis del candidato (a) a grado: Nombre de tesista, constituido por CC. Dr. Luis Humberto May Hernández, Dr. Iván Alfredo Estrada Mota, Dr. Fernando Hernández Sánchez y MC. José Dolores Lira Maas habiéndose reunido con el fin de evaluar el contenido teórico-metodológico y de verificar la estructura y formato de la tesis titulada: **Análisis y estandarizar el tratamiento hidrotérmico (previo al blanqueo) utilizado en el procesamiento artesanal de las fibras de jipijapa en Bécál, Campeche**, que presenta como requisito para obtener el grado de Maestro en Ciencias de la Ingeniería, según lo establece el Capítulo 2, inciso 2.15.5, de los Lineamientos para la Operación de los Estudios de Posgrado del Tecnológico Nacional de México, dictaminaron su aprobación para que pueda ser presentada en el examen de grado correspondiente.

ATENTAMENTE


DR. LUIS HUMBERTO MAY HERNÁNDEZ
DIRECTOR DE TESIS


DR. IVÁN ALFREDO ESTRADA MOTA
CO-DIRECTOR DE TESIS


DR. FERNANDO HERNÁNDEZ
SÁNCHEZ
TUTOR


MC. JOSÉ DOLORES LIRA
MAAS
TUTOR

Av. Ah Camul s/n por Carretera Federal - C. P. 24900 - Calkiní, Campeche
www.itescam.edu.mx - Tel. (981) 8292042 Fax. (981) 8167701

CPI-FO-05-07
Vigente desde Nov/2021
Revisión 03



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLOGÍA
NACIONAL DE MÉXICO

Instituto Tecnológico Superior
de Calixtlahuacán en el Estado de Campeche
Dirección Académica

Calixtlahuacán, Campeche a 01 de marzo de 2023.

ASUNTO: Autorización de impresión de tesis

DR. DANY ALEJANDRO DZIB CAUICH
DIRECTOR ACADÉMICO
PRESENTE

Por medio del presente, nos permitimos informar, que el comité tutorial ha concluido con la revisión de la tesis "ANÁLISIS DEL TRATAMIENTO HIDROTÉRMICO EN EL PROCESADO ARTESANAL DE LAS FIBRAS DE JIPIJAPA EN BECAL, CAMPECHE" desarrollada por el estudiante RAÚL ALEJANDRO CHI MENA, con matrícula 7106 de la Maestría en Ciencias de la Ingeniería de la Línea de Generación y Aplicación del Conocimiento BIOMATERIALES POLIMÉRICOS; y autorizamos la impresión de la misma, para que el estudiante continúe con el trámite de titulación.

Sin más por el momento, nos despedimos quedando a sus órdenes para cualquier comentario o aclaración.

ATENTAMENTE


Dr. Luis Humberto May Hernández
Nombre y Firma
Director de Tesis


Dr. Iván Alfredo Estrada Mota
Nombre y Firma
Co-director de Tesis


Dr. Fernando Hernández Sánchez
Nombre y Firma
Miembro comité tutorial externo


MC. Jose Dolores Lira Maas
Nombre y Firma
Miembro comité tutorial interno


INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE
CALIXTLAHUACÁN, EN EL ESTADO DE CAMPECHE
COORDINACIÓN DE POSGRADO
E INVESTIGACIÓN
CLAVE: 0486U0013P
CALIXTLAHUACÁN, CAMPECHE, MÉXICO

Vo. Bo.


Dr. Luis Alfonso Can Herrera
Jefe de Departamento de Posgrado e Investigación



Av. Ah Camil S/N por Carretera Federal, Calixtlahuacán, Campeche, C.P. 24900
E-mail: direccionacademica@itescam.edu.mx | itescam.edu.mx



2023
Francisco
VILLA

RECONOCIMIENTO

Por medio de la presente, hago constar que el trabajo de tesis titulado:

**“ANÁLISIS DEL TRATAMIENTO EN EL PROCESADO ARTESANAL DE LAS FIBRAS
DE JIPIJAPA EN BÉCAL, CAMPECHE”**

Del programa de Maestría en Ciencias de la Ingeniería fue llevado a cabo por RAÚL ALEJANDRO CHÍ MENA y se realizó en las instalaciones del Instituto Tecnológico Superior de Calkiní, bajo la Dirección del **DR. LUIS HUMBERTO MAY HERNÁNDEZ** y bajo la co-dirección del **DR. IVÁN ALFREDO ESTRADA MOTA**.

ATENTAMENTE



MTRO. RODOLFO ENRIQUE CARDOZO RIVERO
DIRECTOR GENERAL



**INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE
CALKINÍ, EN EL ESTADO DE CAMPECHE**
“ DIRECCIÓN GENERAL ”
CLAVE: 04MSU0013P
CALKINÍ, CAMPECHE, MÉXICO

Calkiní, Campeche a 20 de junio de 2022.

DECLARATORIA DE PROPIEDAD

Declaro que la información contenida en las secciones de materiales y métodos, resultados y discusión de este documento, es producto del trabajo de investigación realizado durante mis estudios de posgrado y con base en los términos de la Ley Federal del Derecho de Autor y la Ley de la Propiedad Industrial le pertenece patrimonialmente al Tecnológico Nacional de México Campus Calkiní. En virtud de lo manifestado reconozco que los productos intelectuales o desarrollos tecnológicos que se deriven de lo correspondiente a dicha información son propiedad de la citada institución educativa.



RAÚL ALEJANDRO CHI MENA



Instituto Tecnológico Superior de Calakmul, en el Estado de Campeche

Calakmul, Campeche a 10 de enero de 2023

Asunto: Carta de liberación de plagio

**RAÚL ALEJANDRO CHÍ MENA
PRESENTE**

Por este conducto me permito informarle que con base a los resultados obtenidos por el software institucional (*turnitin - similarity*) es posible afirmar que el porcentaje de similitud de la tesis es menor al máximo permitido por el consejo académico (17%). La tesis analizada corresponde al estudiante RAÚL ALEJANDRO CHÍ MENA con número de matrícula G20137106 perteneciente al Programa de Maestría en Ciencias de la Ingeniería, cuyo título de tesis es **ANÁLISIS DEL TRATAMIENTO EN EL PROCESADO ARTESANAL DE LAS FIBRAS DE JIPIJAPA EN BÉCAL, CAMPECHE**, el cual es dirigido por el DR. LUIS HUMBERTO MAY HERNÁNDEZ.

Con base a lo descrito anteriormente, se establece la tesis como LIBERADA DE PLAGIO.

Sin otro particular, aprovecho la ocasión para enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE


INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE
CALAKMUL, EN EL ESTADO DE CAMPECHE
COORDINACIÓN DE POSGRADO
E INVESTIGACIÓN
CLAVE: 048600012P
CALAKMUL, CAMPECHE, MÉXICO

DR. LUIS ALFONSO CAN HERRERA
JEFE DE DEPARTAMENTO DE
POSGRADO E INVESTIGACIÓN

Av. Ah Canul s/n por Carretera Federal - C. P. 24900 - Calakmul, Campeche

www.itescam.edu.mx

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, agradezco a Dios por darme la vida y la dicha de conocer a una gran persona quien escogí como mi asesor y director de tesis el Dr. Luis Humberto May Hernández, quien gracias a sus conocimientos, interés, dirección, consejos y apoyo incondicional pude culminar con la presente investigación, así como, con la elaboración de este documento. También agradezco a todos los maestros y Doctores que compartieron sus conocimientos en el transcurso del plan de estudios de la Maestría en Ciencias de la Ingeniería y de una manera especial, agradezco los consejos, observaciones y la confianza que me brindó el Dr. Iván Alfredo Estrada Mota al ser partícipe como sinodal de los avances de éste trabajo. Agradezco a la fundación Pablo García, quien me apoyó con una beca mensual para poder realizar el pago de las colegiaturas, compras de equipo personal (lap top), y otros gastos que se presentaron para el desarrollo de mi profesión. También agradezco al Instituto Tecnológico de Calkiní del Estado de Campeche por haberme apoyado con el 90% de descuento de la colegiatura mensual y por haberme facilitado el uso de los equipos y materiales que fueron necesarios para poder desarrollar esta investigación, destacando la atención prestada por la jefa de la unidad de administración de talleres y laboratorio, la Mtra. Marilú González Martínez. Por último, agradezco a mi esposa, Sandra María Santamaría Poot, por ser una ayuda idónea durante el lapso de mi preparación profesional, agradezco las palabras de ánimo brindado en su momento, así como también, agradezco a mi hijo Eliseo quien fue mi inspiración para poder terminar este plan de estudios, por medio de su hermosa sonrisa.

INDICE

AGRADECIMIENTOS.....	VI
RESUMEN	XI
INTRODUCCIÓN.....	XIII
1. ANTECEDENTES	1
1.1 FIBRAS.	1
1.1.1 2.1.1 Fibras animales.....	1
1.1.2 2.1.2 Fibras naturales.....	1
1.1.3 Tipos de fibras naturales.....	2
1.2 CARLUDOVICA PALMATA (JIPIJAPA).....	2
1.2.1 Botánica.....	2
1.2.2 Clasificación taxonómica (de acuerdo con Cronquist, 1988).	3
1.2.3 Distribución geográfica	4
1.2.4 Planta y suelo	5
1.2.5 Manejo agronómico.....	5
1.2.6 Sistema de plantación	6
1.2.7 Cosecha	6
1.2.8 Aplicaciones.....	7
1.2.9 Procesamiento de Jipijapa.....	8
1.3 AZUFRE	11
1.4 TRATAMIENTOS HIDROTÉRMICOS EN FIBRAS	11
1.5 TECNICAS DE CARACTERIZACION	12
1.5.1 Espectroscopia de Infrarrojo por Transformada de Fourier (FTIR)	12
1.5.2 Calorimetría Diferencial de Barrido.....	14
1.6 ASPECTOS QUÍMICOS DE LAS REACCIONES A LA INTEMPERIE	15
1.6.1 Meteorización	15
1.6.2 Fotoquímica.....	16
1.6.3 Daños biológicos causados por la luz	16
1.6.4 Interacción de la luz electromagnetica con las Biomoléculas.....	17
1.6.5 Radiación solar	17
1.7 COLORIMETRIA.....	18
1.8 JUSTIFICACION.....	19

1.9	OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN	22
1.9.1	Objetivo general.....	22
1.9.2	Objetivos específicos.....	22
2	METODOLOGÍA	23
2.1	Selección de especímenes.....	23
2.1.1	Preparación de fibras de Jipijapa	23
2.2	Tratamiento hidrotérmico artesanal.....	23
2.3	Tratamiento hidrotérmico (sin presión).....	24
2.4	Tratamiento hidrotérmico controlado	24
2.5	Análisis químico.....	25
2.6	Color externo.....	26
2.7	Tratamientos químicos.....	26
2.8	Análisis mecánico	26
2.9	Análisis fisicoquímico	27
2.9.1	FTIR.....	27
2.9.2	TGA	27
2.10	Blanqueado controlado.....	27
3	RESULTADOS Y DISCUSIONES	30
3.1	Análisis por FTIR	30
3.2	Análisis térmico (TGA).....	33
3.3	Análisis mecánico.	39
3.4	Blanqueado de fibras con peróxido de hidrogeno (H ₂ O ₂).....	41
3.5	Cámara de blanqueado	42
3.6	Tratamiento con percarbonato de sodio	46
3.7	Angulo de contacto	46
3.8	Índice de blancura (WI)	50
4.	CONCLUSIONES	51
	BIBLIOGRAFÍAS	53

INDICE DE FIGURA

Figura 1.1.	Sistema de color RGB y la distribución tridimensional del sistema CIELAB. (Fuente: https://sobrecolors.blogspot.com/2010/03/modo-de-color-lab.html)	18
Figura 2.1.	Diseño preliminar de la cámara de blanqueado	29
Figura 3.1.	Espectros de FTIR de fibras jipijapa tratadas a 100 °C a diferentes tiempos.	30
Figura 3.2.	Intervalo de celulosa cristalina [n]. Efecto del tratamiento.....	32
Figura 3.3.	Efecto del tratamiento en peróxido en fibras de Jipijapa	33
Figura 3.4.	Efecto del método de secado en el proceso degradativo de las fibras de Jipijapa... ..	34
Figura 3.5.	Curvas DTG de fibras secadas por diferentes métodos.	35
Figura 3.6.	Curvas derivativas de TGA de muestras tratadas a diferentes temperaturas	37
Figura 3.7.	Curvas derivativas de TGA de muestras tratadas térmicamente (100°C/15 min) y enfriadas a temperaturas diferentes	38
Figura 3.8.	Curvas derivativas de TGA de muestras tratada en peróxido.....	38
Figura 3.9.	Resultado a tensión de fibras tratadas durante 15 min a diferentes temperaturas. 39	
Figura 3.10.	Resultado a tensión de fibras tratadas a 100°C a diferentes tiempos.	40
Figura 3.11.	Fibras tratadas a concentraciones de H ₂ O ₂ (p/v) por 30 min: a) 2.5 %, b) 5% y c) 7.5% 42	
Figura 3.12.	Armado del equipo para el blanqueado de azufre, y adecuación de resistencia	43
Figura 3.13.	Pesado y colocación de azufre en la placa de calentamiento.....	43
Figura 3.14.	Ingreso de fibra catalogada.....	44
Figura 3.15.	Armado y cierre.....	44
Figura 3.16.	Comparación de manojos tratados en la cámara.	45
Figura 3.17.	Fibra blanqueada en percarbonato al 10% por 45 min: A) fibra secada al sol, B) fibra con tratamiento hidrotérmico y C) fibra blanqueada con azufre.	46
Figura 3.18.	Gota de agua sobre fibras tratadas en H ₂ O ₂	47

INDICE DE TABLA

Cuadro 1.1.	Número de modos vibracionales	13
Cuadro 1.2.	Coordenadas CIELAB	18
Cuadro 2.1	Variables de temperatura y tiempo	24
Cuadro 3.1.	Datos FTIR del contenido lignocelulósico de la fibra Carludovica Palmata.....	31
Cuadro 3.2.	Intervalos de degradación para materiales lignocelulósicos.	35

Cuadro 3.3.	Resultados a tensión en muestra tratada (100°C por 10 min) en peróxido al 10% por 30 min.	41
Cuadro 3.4.	Resultados de medición de ángulo de contacto en fibras de Jipijapa	47
Cuadro 3.5.	Análisis del comportamiento hidrofóbico de las fibras en función del tratamiento hidrotérmico aplicado.	47
Cuadro 3.6.	Valores de L, A* y b* para las muestras tratadas y de referencia	50

RESUMEN

Actualmente en la comunidad de Becal, municipio de Calkiní en Campeche, debido a la necesidad de conservar las costumbres, tradiciones y técnicas ancestrales, como también para obtener un ingreso económico, realizan actividades artesanales y de cultura local. Siendo la producción artesanal de Sombreros de Jipijapa (*Carludovica Palmata*) la que lleva varias generaciones desarrollándose. Para la elaboración de un sombrero se requiere varios procesos: a) corte de cogollo; b) azote y rayado del cogollo; c) Cocimiento (**tratamiento Hidrotérmico**), d) blanqueo y secado del cogollo; e) tejido del sombrero, f) blanqueado en horno con azufre, g) despunte del excedente de hilos, h) planchado del sombrero, e i) coser bandas.

La característica principal de este tipo de proceso es que la palma de Jipijapa adquiera propiedades físicas, químicas y mecánicas, los cuales permitan su manipulación para el tejido (en complemento del proceso de blanqueado). Sin embargo, al no ser un proceso controlado, en ocasiones el artesano se ve a la necesidad de volver a realizar dicho proceso (no obtuvo el color, textura requerida), lo cual implica un desperdicio de tiempo y la pérdida de material.

Esta investigación se realizó con el interés de identificar y evaluar las variables del proceso hidrotérmico y su efecto en el blanqueado, para ello se establecerán parámetros Hidrotérmico, físicos y químicos que permitan estandarizar la técnica de tratamiento Hidrotérmico controlado.

ABSTRACT

Currently in the community of Becal, municipality of Calkiní in Campeche, due to the need to preserve customs, traditions and ancestral techniques, as well as to obtain an economic income, they carry out craft activities and local culture. Being the artisan production of Sombreros de Jipijapa (Carludovica Palmata) the one that has been developing for several generations. Several processes are required to make a hat: a) cutting the heart; b) whipping and scratching of the bud; c) Cooking (Hydrothermal treatment), d) blanching and drying of the bud; e) weaving the hat, f) bleaching in the oven with sulfur, g) removing excess threads, h) ironing the hat, and i) sewing bands.

The main characteristic of this type of process is that the Jipijapa palm acquires physical, chemical and mechanical properties, which allow its manipulation for weaving (in addition to the bleaching process). However, since it is not a controlled process, sometimes the craftsman finds it necessary to carry out the process again (he did not obtain the required color or texture), which implies a waste of time and loss of material.

This research was carried out with the interest of identifying and evaluating the variables of the hydrothermal process and its effect on bleaching, for which Hydrothermal, physical and chemical parameters will be established to standardize the technique of controlled Hydrothermal treatment.

INTRODUCCIÓN

Las hojas de la *Carloduvica Palmata* (Bennet, 1992) o Jipijapa, sigue siendo la materia prima más utilizada para la elaboración de sombreros. Las características simbióticas de los artesanos con el Jipijapa han permitido mantener un flujo constante de la producción y cosecha del Jipijapa con la elaboración de sombreros, debido a que es una materia prima que se encuentra en la región y es utilizada para la fabricación de diversos tipos de artesanías en algunas localidades de Campeche, entre las que se encuentran: Santa Cruz Ex-Hacienda, Cuch Holoch, Tankuché, Becal, entre otras, en cuyos poblados existen ciudadanos natales de habla maya. (Pat 1999). El impacto social y económico es evidente, siendo que sus pobladores realizan constantemente trabajos artesanales para generar recursos con los que pueda ayudar económicamente a su familia, así como para continuar promoviendo la cultura campechana. (Toledo 2008).

Algunos trabajos que se han realizado con el Jipijapa van desde su potencial uso como sustituto de papel (Muños y Tuberquia, 1999), el crecimiento controlado de la planta mediante vermicomposta (Ortega, 2020), hasta la selección de cogollos por temporada por Rengifo y Zanabria (2001).

Esta planta exhibe un gran potencial económico para muchas familias que habitan en áreas rurales debido a su uso como producto forestal no maderable (Te Velde et al., 2006; Galviz-Quezada et al., 2019), un producto industrial (Linares et al., 2008), un producto alimenticio (Álvarez, 2014), o una posible fuente de fibras vegetales en biocompuestos (Bourmaud et al., 2018).

Su reproducción puede ser sexual a través de semillas; sin embargo, se han reportado problemas de germinación asociados con eventos de polinización (Gómez et al., 2011). López (2013) determinó el contenido de lignina, elementos solubles e insolubles en agua de la fibra de Jipijapa.

Hoyos (2020) realizó un estudio sobre la adaptación de la palma de Jipijapa en ambientes de vivero, posteriormente estableció el resultado de la concentración de 6-bencilaminopurina (BAP) en la formación de nuevos brotes y de ácido 1-naftalenacético (NAA) en la formación de raíces; de esta manera, se dio a conocer la tasa de multiplicación óptima. No obstante, Moo-Huchim y col (2019) extraen celulosa mediante procesos

químicos agresivos, y determinan propiedades mecánicas y fisicoquímicas para su aplicación como material de refuerzo en materiales compuestos.

Derivado del interés técnico de esta planta, y dada la poca existencia de trabajos relacionados con la optimización del proceso hidrotérmico, se pretende llevar a cabo, este proyecto de investigación. De forma artesanal, las hojas de Jipijapa se sumergen en agua hirviendo entre 30 min a 3 horas, pasando por secados al sol directo que van de 12 a 36 hr y las características del cogollo de Jipijapa (hora de corte y variedad de la palma). Por último, se cuelgan para un secado lento a la intemperie. Esto de acuerdo con la información recabada de los artesanos, el grado de aceptación de las fibras, dependerá además de factores climatológicos.

Una vez analizado, lo puntos anteriores, podemos hacer comparaciones de los resultados y establecer a que temperatura se debe realizar el tratamiento hidrotérmico de la palma de Jipijapa. De hecho, este resultado puede ser muy benéfico para todos los artesanos, ya que controlarán su proceso hidrotérmico y estarán seguros de que, al término de este proceso, la materia prima puede pasar al siguiente proceso.

Para ello, este proyecto pretende analizar el tratamiento hidrotérmico que se realiza de manera artesanal y estandarizarlo, a partir de los resultados de la caracterización química y morfológica del Jipijapa. Los procesos utilizados para modificar la textura y propiedades de la fibra que establece el artesano requieren del control de sus variables de operación (tiempo y temperatura de cocimiento de fibras, pH, tiempo de secado y exposición a la radiación solar y humedad residual). Si las condiciones lo permiten el segundo estudio seria sobre la concentración y tiempo de exposición a los vapores de azufre para el blanqueado. Para ello se analizarán las fibras de Jipijapa mediante pruebas de resistencia a la tensión, superficiales (SEM) y fisicoquímicas (DSC y FTIR); de igual forma se determinará el contenido de lignina durante los diferentes tratamientos propuestos.

Además de optimizar la técnica de tratamiento Hidrotérmico empleado por el artesano, se pretende brindar información para proponer alternativas de blanqueado y una propuesta en funcionamiento de una cámara para los tratamientos, que permitan obtener las mismas características físicas de las fibras que requiere el artesano, en un menor tiempo.

De esta manera, el proceso hidrotérmico será optimizado y por lo tanto se disminuirá los tiempos de reproceso, la pérdida de tiempo y la pérdida de material.

1. ANTECEDENTES

1.1 FIBRAS.

Las fibras se pueden clasificar de manera general, por su origen o sus características químicas:

Por su origen:

- Naturales: que pueden ser de origen vegetal, animal, mineral o inorgánico.
- Artificiales: que fueron obtenidas por el ser humano a partir de hidrocarburos.

Por sus características químicas:

- Celulósicas; las cuales provienen de los vegetales, tanto naturales como reprocessadas.
- Proteínicas; provienen del reino animal, entre los cuales se encuentran pelos, lana y sedas.
- Sintéticas, es el resultado de mezclas químicas y minerales, en otras palabras, se pueden decir que, son artificiales.

1.1.1 2.1.1 Fibras animales.

Las fibras de origen animal contienen proteínas, los cuales son de gran ayuda, debido a que le da la característica de ser resistente a la mayoría de los ácidos orgánicos, como a los ácidos minerales, entre el cual se encuentra el ácido sulfúrico. Sin embargo, es de mucha importancia señalar que las fibras proteínicas pueden ser altamente dañadas o disueltas por las bases o álcalis, tal como el hidróxido de sodio, el cual tiene la propiedad de blanquear. Por lo que los blanqueadores que contienen algún porcentaje de cloro, pueden dañar la fibra.

1.1.2 2.1.2 Fibras naturales.

Las fibras vegetales están basadas de un biopolímero conocido como celulosa, que es resistente a los álcalis y a la mayoría de los ácidos orgánicos. Sin embargo, los ácidos minerales fuertes las destruyen.

La celulosa de las fibras vegetales está compuesta exclusivamente de moléculas de β -glucosa (homopolisacárido), y está dispuesta en largas y complejos arreglos de celulosa en

forma de fibrillas, cuyas moléculas están en su mayor parte orientadas en el sentido del eje de la fibra; y cuyo orden promueven zonas cristalinas de celulosa.

La presencia de fuerzas intermoleculares genera un efecto de reticulación irreversible que se mantiene por largos periodos. Ante la presencia de humedad la celulosa se hincha, pero en el secado regresa a su posición natural. En tanto, si se deshidrata en condiciones húmedas, se mantiene hinchada y facilita su manipulación.

1.1.3 Tipos de fibras naturales.

Las fibras naturales pueden clasificarse de acuerdo con su textura, duras y blandas. O por la parte de donde proviene, como la semilla (algodón), el tallo (lino), las hojas (jipijapa) o del fruto (coco).

Las fibras duras, son aquellas que provienen de las hojas de Monocotiledóneas. La característica principal es que cada fibra tiene un haz vascular con las fibras asociadas, los cuales tienen un curso largo y recto con muy pocas y débiles anastomosis. Este tipo de fibras son generalmente de textura rígida y contienen un alto porcentaje de lignina. Entre ellas están el fique, abacá y el jipijapa.

Las fibras blandas son las fibras floemáticas de tallos de Dicotiledóneas, que pueden estar más o menos lignificadas, pero son blandos, maleables y flexibles. Ejemplos: lino y ramio, cáñamo.

1.2 CARLUDOVICA PALMATA (JIPIJAPA).

1.2.1 Botánica

La Palma de Jipijapa es una planta terrestre, llega a medir entre 1 a 2 metros de alto, su hoja abierta tiene forma de abanico y es menor a un metro, tiene hojas tiernas y compactas (conocido como cogollo), el color de sus pecíolos es verde en la base, acaulescente que forma colonias, cilíndricos y acanalados. Presenta rizoma, lo cual favorece la producción de nuevos individuos por reproducción asexual y su inflorescencia es un espádice de 10 a 20 centímetros de largo, con raquis más o menos carnoso rodeadas por espatas que posteriormente se caen, cuando maduran los espádices son de color verde fuerte con grietas rojas, un solo hijuelo puede presentar de 6 a 8 espádices. El fruto producto de la

reproducción sexual es una baya de color rojo con semillas de color amarillo (Standley y Steyermark, 1958; Bennett et al., 1992; Uc Dzul, 1995; Pérez Rodríguez, 2001; Aguilar de Tamariz, 2009).

Esta planta, se va multiplicando de manera vegetativa, ya que no produce semillas que le permita germinar y crecer. Otra característica que lo distingue, es que no desarrolla un tronco leñoso, tiene flores femeninas y masculinas; las flores que maduran primero son las femeninas, estas tienen largos estigmas caedizos con muchas flores diminutas de color blanco-crema, en tanto, las flores masculinas tienen abundante polen que madura posteriormente.

Cuando la palma de la planta se abre, llega a medir de 2 a 3 metros de longitud. En el centro de la planta crece una nueva hoja tierna, de color verde, al cual se le conoce con el nombre de cogollo; esta hoja se utiliza como la materia prima para la creación de varios tipos de artesanías, ya que tienen un color marfil y sus características son las óptimas para ser manipuladas.

Es una planta muy ornamental que no necesita mucho cuidado, solamente que hay que tener en cuenta que existe un control para su poda, ya que es necesario entre de 4 a 5 meses desde que se siembra hasta que haya obtenido un crecimiento de al menos 1.5 m de altura, para que sea cosechada.

1.2.2 Clasificación taxonómica (de acuerdo con Cronquist, 1988).

Carludovica palmata Ruiz & Pavon, es el nombre botánico de la paja conocida con el nombre de “paja toquilla” en el Ecuador (Aguilar de Tamariz, 2009) y Jipi en México (Fadiman, 2001), la cual es utilizada como la principal materia prima manufactura de sombreros. Esta planta es proveniente del continente americano, se conoce por el vulgo con diferentes nombres; entre los principales se pueden citar: Jipijapa, cestillo, ucua, murrayo, lucaica, rabiahorcado, palmiche, alagua, junco (Guatemala); iraca (Colombia); chidra (Costa Rica); guachivan, atadero (Panamá); toquilla, bombonaje (Perú); bombonassa (Brasil) (Aguilar de Tamariz, 2009). *Carludovica*, un género de tres especies que va desde México hasta Bolivia central; es la especie más común, pertenece a la familia de las Ciclantáceas y la cual desarrolla su crecimiento en suelos húmedos o mojados, usualmente en áreas abiertas (Bennett, et al., 1992). Este tipo de palmera no tiene tronco

CAPITULO 1. ANTECEDENTES

y sus hojas los cuales tienen forma de abanico, crecen desde el suelo, sostenidas por largos pecíolos cilíndricos. Con sus hojas anchas y abiertas, esta planta puede alcanzar una longitud entre dos o tres metros. Cuenta con unas hojas tiernas o cogollo, el cual es utilizado para la manufactura de sombreros, el color de la parte exterior del cogollo es verde, su centro es de color blanco marfil o blanco perla (Aguilar de Tamariz, 2009).

La *Carludovica Palmata* corresponde a la familia de las CYCLANTHACEAE (monocotiledóneas), de las cuales existen diferencias en longitud y diámetro del cogollo. Cuando se podan de manera controlada en su tiempo determinado y se orilla a poner abona a la planta, se pueden obtener cogollos con características de buena calidad y por lo tanto el producto será de calidad; en caso contrario, la calidad será incompetente.

De manera general:

Familia: Cyclanthaceae

Reino: Vegetal División:

Magnoliophyta Clase: Liliopsida

Subclase: Arecidae Orden: Cyclanthales

Especie: *Carludovica palmata* Ruiz & Pavón

1.2.3 Distribución geográfica

La especie *Carludovica palmata* distribuye desde el sureste de México hasta Bolivia Central en zonas tropicales y subtropicales, en un rango de altitud que va desde 0 a 2,000 msnm, ya que la temperatura ideal para su crecimiento y reproducción oscilan entre 22 °C a 26 °C, así mismo, necesita una precipitación media anual entre menos de 300 mm y más de 6,000 mm, debido a que este tipo de planta, se adapta fácilmente en suelos húmedos o inundados, arcillosos o franco arcillosos (Histosoles, Inceptisoles, Entisoles). La planta puede hallarse asociada con colonias de la misma especie u otras especies (asociación Higrófila) (Standley y Steyermark, 1958; Bennett et al., 1992; Pérez Rodríguez, 2001; Aguilar de Tamariz, 2009). En México se pueden hallar tres tipos de especies que corresponden al género *Carludovica*, las cuales se parecen morfológicamente; no obstante, pueden diferenciarse por el tamaño de la hoja, floración, altura, así como por la textura y coloración de las fibras que se obtienen de las mismas. Las especies *Carludovica chiapensis* Matuda y *Carludovica*

tabascanas Matuda desarrollan su crecimiento de forma natural en las selvas de los estados de Chiapas y Tabasco; mientras que *Carludovica palmata* Ruiz & Pavón se encuentra en el norte de Campeche específicamente en las comunidades mayas como Becal, Nunkiní, Santa Cruz Ex-Hacienda, San Nicolás, Tankuché, Cuch Holoch, Santa María, entre otras, (Uc Dzúl, 1995; UNAM, 2015).

1.2.4 Planta y suelo

La Palma de Jipijapa necesita suelos con altos en nutrimentos, textura arcillosa o franco arcillosa y profundos, para poder desarrollar mejor su crecimiento y ofrecer cogollos de calidad (Bennett et al., 1992; Pérez Rodríguez, 2001; Aguilar de Tamariz, 2009). En el norte de Campeche, se cultiva en Luvisoles y Leptosoles los cuales pertenecen a la clasificación maya llamada Kan kab y Tze'kel, generalmente de baja fertilidad (SARH, 1988). La superficie terrestre de la localidad es muy pedregosa y deficiente de un macronutriente muy importante, el Fósforo (Dabin, 1980); no obstante, el cultivo de cogollos ha continuado gracias a las temporadas de lluvias y al precio accesible del agua que es utilizado para sistemas de riegos.

1.2.5 Manejo agronómico.

El manejo agronómico de la palma de Jipijapa que realizan los productores en Santa Cruz Ex Hacienda, Calkiní, Campeche se basa en los trabajos de cuatro autores (Uc Dzúl, 1995; Fadiman, 2001; Centeno Erguera, 2009; Ortega Haas, 2013). Primero se realiza la limpieza del terreno, adecuándolo para poder sembrar la planta de Jipijapa (se quita toda hierba o maleza). Posteriormente, se necesita retirar las piedras que están en la superficie de la tierra con la finalidad de que la palma se vaya reproduciendo de forma natural. En caso de que la laja esté sobre la superficie de la tierra, no se recomienda romperlo ya que eso elevaría los costos al intervenir maquinaria; en ese caso lo recomendable es distribuir una capa de tierra fértil. Una vez teniendo listo el terreno, se procede al corte de las ramas del Jipijapa, al nivel de su tronco, para realizar el trasplante de la planta. Es muy importante contar con un sistema de riego o pozo.

1.2.6 Sistema de plantación

Los sistemas de plantación pueden ser de dos maneras: cielo abierto y sistema bajo sombra. En el sistema cielo abierto, la planta se siembra exponiéndolo directamente a la energía solar, en tanto en el sistema bajo sombra se logra con la exposición de la planta igual o menor a un 50% a la energía solar. (Uc Dzul, 1995). La palma de Jipijapa puede sembrarse en asociación con plantas como chile, maíz, árboles frutales y maderables. Sin embargo para que la palma de jipijapa pueda desarrollar bien su crecimiento, se recomienda que primero se trasplanten la palma de Jipijapa y luego se siembren las otras plántulas (Centeno Erguera, 2008).

1.2.7 Cosecha

El cogollo, es la principal materia prima para poder manufacturar sombreros y otros tipos de artesanías, es una palma que aún está compacta y tierna, sin embargo, para poder obtener un cogollo de calidad debe cumplir con ciertos criterios ya especificado por los artesanos: debe medir igual o mayor a 65 centímetros de largo, su color debe ser verde y el grosor del limbo compactado debe ser entre 1.3 a 1.7 centímetros.

Entre los meses de marzo a septiembre existe mayor producción de cogollos, ya que el clima de algunos días con lluvia y otros con sol, benefician el crecimiento del cogollo. Es recomendable realizar las cosechas intercalándolo cada 15, 21 o cada 30 días. El promedio de cogollos cosechados a la quincena en 0.04 ha-1 es de 135. Es importante considerar que para cosechar el primer cogollo se debe esperar dos años y medio después de haber trasplantado la planta. No obstante, así como hay tiempo de abundancia, también hay tiempo de escases, por lo que para la temporada de los meses octubre a febrero, no es recomendable cosechar, ya que podemos debilitar a la planta, sin embargo, algunas veces se alarga a los meses de marzo, abril y mayo.

Para cosechar un cogollo no se necesita maquina alguna, su cosecha es manual y solamente necesitamos un machete o cuchillo. El tallo se corta a 15 cm a partir de la base del tallo (Uc Dzul, 1995; Pérez Rodríguez, 2001; Aguilar de Tamariz, 2009; Ortega Haas, 2013).

1.2.8 Aplicaciones

Ecuador es el primer país que industrializó la *Carludovica palmata*, no solamente en la manufactura de sombreros, sino también en la manufactura de diversos objetos artesanales que cumplen con diferentes funcionalidades y de uso cotidiano, tales como carteras, abanicos, collares y muchos más, los cuales se usan como un decorativo personal, así como decorativo para los hogares. La gran utilidad de esta planta es que también puede servir para realizar techos de hogares (Aguilar de Tamariz, 2009).

En México, específicamente en Península de Yucatán esta especie se introdujo en el año de 1866, Don Pablo Montero Ramón, un cauchero que trabajaba en Guatemala trajo esquejes de *Carludovica palmata* a Becal, Campeche. Los hermanos Don Sixto y Don Pedro García, los hacendados más destacados de la región reconocieron la flexibilidad, blancura y durabilidad superiores de la hoja de Jipijapa para tejer y dedicaron su hacienda Santa Cruz para el cultivo de la nueva especie. En la actualidad el Pueblo de Santa Cruz sigue siendo el principal productor de Jipijapa de la región. En 1935, el gobierno de Campeche estableció dos escuelas en Becal, donde los instructores enseñaban a los niños a tejer. Sin embargo, treinta años después, el gobierno cerró estos centros porque los padres se hicieron cargo de la instrucción de sus hijos en este arte. Hoy en día, la tradición docente continúa mientras las mujeres de Becal viajan a los pueblos vecinos para enseñar a tejer, lo que permite a más personas de la región. El beneficio es que la ciudad de Santa Cruz, además de producir Jipijapa ahora también fabrica sombreros (Fadiman, 2001).

Las principales fuentes de Jipijapa son las plantaciones y jardines privados. La mayoría de estos se encuentran en los estados de Campeche y Yucatán, entre los pueblos de Halachó, Tancuché, Santa Cruz, Nunkiní, Holoch y Maxcanú. Solo en Santa Cruz y en Nunkiní las residentes también tejen. Aunque algunos Jipijapa crecen en Becal, el nivel freático está demasiado por debajo de la superficie para soportar grandes plantaciones. Desde la introducción de Jipijapa en la década de 1860, la fabricación de sombreros es una de las principales industrias del oeste de Yucatán y el norte de Campeche. Becal un pueblo situado al norte de Campeche, es reconocida históricamente y actualmente como centro de tejido de sombreros de la Península de Yucatán. La gente de Becal ha aprovechado la flexibilidad y durabilidad del material para convertirse en hábiles tejedores. Construyeron una industria a partir de la cual crecieron la economía y la identidad del pueblo. El recurso hasta ahora ha sido sostenible, ya que el suelo continúa sustentando plantas en las

plantaciones alrededor de Becal. Las Plantas mismas continúan regenerándose y creciendo nuevas ramas, porque los tejedores solo utilizan algunas hojas. Son conscientes de dejar suficiente material fotosintético nuevo para que la planta siga creciendo. Así, no necesitan limpiar las tierras boscosas cercanas a sus campos. Dado que los tejedores ganan alrededor de 1200 pesos por persona al año, las ganancias permiten a las personas complementar la economía del hogar. Aunque esto es un ingreso útil, los tejedores a menudo obtienen tan solo 1/10 del precio de venta final. Si los tejedores pudieran comercializar sus productos de forma más directa, entonces sus ingresos aumentarían. Sin embargo, aunque el mercado se está expandiendo, el interés por el tejido entre los Becaleños está disminuyendo. Lo que había sido fundamental para su forma de vida como arte, una forma de sustento y como una actividad social unificadora, ahora compite con un estilo de vida cambiante (Fadiman, 2001). No obstante, para algunos ciudadanos en las comunidades de Bécal, Santa Cruz Exhacienda, Tankuché y San Nicolás continúa siendo una de las estrategias para generar recursos económicos y conservar la cultura de la de la región; en cuyas actividades de producción realizan una gran variedad de productos artesanales a base de la palma de jipijapa (Poot-Pool W.S., et al., 2018).

1.2.9 Procesamiento de Jipijapa

Las hojas de la *Carludovica Palmata* son fibrosas, con una estructura compacta, resistente, flexible al doblez y torsión. Para ser utilizada debe pasar por varios procesos, los cuales se presentan en los siguientes apartados:

Recolección: Normalmente se establecen fechas para la cosecha del cogollo, así como identificar cuando el cogollo se encuentre en la mejor condición para poder ser cosechado: debe estar completamente cerrada, verde y al menos, una semana antes de que el cogollo comience a abrirse se debe cosechar, para asegurar una buena calidad.

Para cosechar el cogollo se corta con un elemento filoso (debido a que su tallo es muy fibroso y resistente), reservando una porción de 10 a 15 cm del tallo; este dato es muy importante considerar, ya que servirá para que el cogollo se pueda manejar de una forma más fácil al pasar por los diferentes procesos, tales como el secado y el blanqueado. Sin embargo, si el cogollo se corta muy tierno la paja resulta floja y por lo tanto, el sombrero presentara colapsos o deformaciones; al contrario cuando el cogollo se encuentre

CAPITULO 1. ANTECEDENTES

demasiado maduro (apertura de hoja) no se conseguirá una tonalidad clara que es necesario para un sombrero de calidad (Aguilar de Tamariz, 2009).

Devanado: Una vez cosechado los cogollos, lo que continúa es eliminar “las venas” del mismo, que consiste en abrir el cogollo de forma mecánica (golpes), para que la palma se abra y posteriormente con la ayuda de una aguja, dividir la corteza de la hoja de las venas. Una vez dividido, se retiran las venas del cogollo para posteriormente realizar incisiones para dividirlo (dependiendo del tipo de sombrero a realizar) hasta obtener varias tiras del Jipijapa. Este proceso es útil para eliminar esas parte del material vegetal que impiden el tejido por ser rígidos o poco maleables.

Cocción: También conocido como tratamiento hidrotérmico, que consiste en la eliminación parcial de elementos solubles en agua, así como la eliminación de elementos impregnados en la palma que promueven la descomposición de la fibra. Por lo tanto, se requiere que el agua alcance su punto de ebullición, para luego introducir las palmas de Jipijapa previamente procesadas, durante aproximadamente 30 minutos con el propósito de obtener uniformidad en el tratamiento térmico.

Secado: los cogollos previamente tratados hidrotérmicamente, húmedos y enfriados, se proceden a colgarse para su posterior secado a sombra, para lo cual se recomienda estar debajo de un techo de paja. Es muy importante que antes de colgar las palmas (para su posterior secado) se debe sacudir las palamas con el objetivo de que sus hojas húmedas se separen sobre la mesa son tendidos en cordeles dentro de un área techada que provee sombra. Una vez que haya disminuido el grado de humedad en las palmas previamente tratadas, es necesario terminar de secar en exposición al sol, para disminuir aún más la humedad. Es importante dejar reposar la palma previamente tratada con la luz solar directa, entre 8 a 9 horas, ahora en caso de que el clima sea nublado se recomienda que el secado sea aproximadamente 11 horas.

Blanqueado: Para el desarrollo de este proceso artesanal, es necesario contar con un horno bien diseñado, así como lo más cerrado posible, ya que en este proceso se trabaja con azufre, el cual es vertido en un recipiente y se introduce dentro del horno para producir vapor, lo cual, al tener contacto con las palmas de Jipi dentro del horno, tienden a tener un blanqueado. Este proceso es repetido por el artesano, de acuerdo al tono de blanqueo que

CAPITULO 1. ANTECEDENTES

se requiera, está entre 2 o 3 repeticiones, sin embargo, cada sesión de blanqueo involucra un día de trabajo.

El blanqueado de la palama de Jipijapa es de carácter opcional y depende mucho de las especificaciones que el cliente requiera. Desafortunadamente este proceso de blanqueado donde interviene el azufre puede ser un riesgo para la salud del artesano, debido a que los vapores de azufre se van esparciendo y permanece un tiempo en el aire, entonces al respirar se vuelve nocivo para la salud.

En la actualidad hay gente que se dedica a generar recursos de dos maneras con la palma de Jipijapa, uno es que lo utiliza directamente para la fabricación de diferentes tipos de artesanías y la segunda es que solamente se dedica a la venta de los cogollos previamente tratados (listos para ser utilizados). Algunas artesanías que pueden realizarse con esta materia prima son: carteras, sombreros, cestas, escobas, tapetes, bolsas y canastas, dependiendo del tipo de hoja, color y textura. Sin embargo, es el cogollo el que se utiliza principalmente para la elaboración de sombreros, y este debe someterse a varios procesos (para darle la suavidad y blancura necesaria), para la obtención de la materia prima final, la cual queda a manera de hebras.

Existe una variedad de técnicas para el blanqueo, algunos usan cajones verticales u hornos de piedra, donde se busca dejar en contacto directo los cogollos de paja con los vapores de azufre; con el propósito de que los vapores interactúen directamente en las fibras, modificando el color y características de la misma.

Para obtener un color más blanco, es necesario repetir el proceso entre dos a tres veces. El color obtenido depende también del clima debido a que en día cuando hace mucho sol, los rayos del sol ayudan a obtener un mejor grado de blancura, ahora en días nublados, es más lento el proceso de blanqueado. Se recomienda realizar el azufrado cuando esté cayendo y que el horno esté en un lugar aislado.

Al día siguiente es necesario exponerlo directamente a la energía solar para que la radiación modifique fisicoquímicamente las fibras de Jipijapa, posteriormente se repite el procedimiento de lavado, azufrado y asoleado de paja; este proceso puede repetirse 1, 2 o 3 veces de acuerdo al nivel de blancura que se requiera.

1.3 AZUFRE

El azufre puede encontrarse frecuentemente en la naturaleza en forma de sulfuros, su reacción al ser utilizado en un proceso de evaporación es altamente tóxico para las vías respiratorias del ser humano, animales y plantas. El azufre desprende un olor demasiado desagradable y a la vez incomoda la respiración, por lo tanto, si una persona se expone constantemente a los vapores de azufre, más adelante pueden tener los siguientes efectos secundarios en su salud:

- Cambios de comportamiento repentino
- La circulación de la sangre puede ser alterada.
- Afecta al corazón
- Lastima la vista
- Fallos reproductores
- Pueden bajar las defensas del cuerpo
- Problemas gastrointestinales
- Irregularidades de los diferentes órganos internos
- Dolor o pérdida auditiva
- Alteraciones del metabolismo hormonal
- Diferentes tipos de alergias en la piel
- Falta de oxígeno en la respiración
- Efectos ambientales del Azufre

El azufre es un reactivo no solamente se utiliza en el proceso artesanal, sino que también es utilizado en las industrias y es emitido al aire, por lo que andar en las ciudades, pone en riesgo nuestra salud.

La vida de los animales también puede tener efectos secundarios, principalmente si se encuentran cerca de los vapores de azufre; los efectos más comunes son daños cerebrales, malfuncionamiento del hipotálamo e irregularidades del sistema nervioso.

1.4 TRATAMIENTOS HIDROTÉRMICOS EN FIBRAS

Los métodos hidrotérmicos de impacto no utilizan agentes químicos más que agua, pero utilizan temperaturas entre los 100 y 200 °C en lapsos de pocos minutos hasta horas. Mediante este tratamiento es posible obtener sustratos ricos en celulosa y la eliminación de componentes no celulósicos durante el proceso.

El tratamiento en agua hirviendo nos ayuda a eliminar parásitos o elementos que aceleran la descomposición de la fibra de Jipijapa, así mismo nos ayuda a adecuar la estructura lignocelulósica. La función del agua en una temperatura elevada es de actuar como disolvente, catalizador y reactante. Este método también logra el fraccionamiento selectivo de cada uno de los tres componentes poliméricos que componen la biomasa lignocelulósica.

Mediante estos tratamientos se desprenden elementos solubles en agua, los cuales contiene hemicelulosa, lignina y celulosa, mismos que se pueden extraer por diferentes métodos.

Normalmente se utilizan tratamientos de 80°C a 100°C para conocer el efecto del tratamiento en cualquier fibra natural, ya que al ser sometidas en el tratamiento hidrotérmico de baja temperatura se evita eliminar componentes como el xilano de la lignocelulosa y oligómeros solubles; los cuales también sufren modificaciones con el pH y en otro caso se disuelven a los 200 °C por más de 10 minutos de tratamiento.

1.5 TECNICAS DE CARACTERIZACION

1.5.1 Espectroscopia de Infrarrojo por Transformada de Fourier (FTIR)

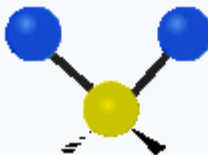
La técnica de caracterización por transformada de Fourier (espectroscopia IR) consiste en interacción de la radiación infrarroja con la muestra a caracterizar. Cuenta con una gran variedad de técnicas, la mayor parte se encuentra enfocado en espectroscopia de absorción. Una de las ventajas de esta técnica, es que nos permite identificar las sustancias o compuestos que contiene una muestra; la muestra puede ser útil en los diferentes estados de la materia (sólido, líquido o gaseoso), esto quiere decir que se puede realizar un sinnúmero de análisis, ya que los diferentes tipos de materiales (orgánico e inorgánicos) pueden servir como muestra de estudio.

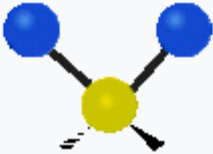
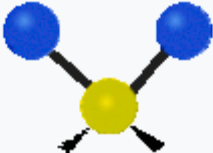
CAPITULO 1. ANTECEDENTES

Un espectro de IR se puede visualizar en un gráfico de la absorbancia de luz infrarroja (o transmitancia) en el eje vertical en función de la frecuencia o la longitud de onda en el eje horizontal. La porción infrarroja del espectro electromagnético se divide generalmente en tres regiones; el infrarrojo cercano, medio y lejano. La energía más cercana al IR, aproximadamente $14000\text{--}4000\text{ cm}^{-1}$ ($0.7\text{--}2.5\text{ }\mu\text{m}$) puede provocar vibraciones armónicas. El infrarrojo medio, aproximadamente $4000\text{--}400\text{ cm}^{-1}$ ($2.5\text{--}25\text{ }\mu\text{m}$) se puede utilizar para estudiar las vibraciones fundamentales y la estructura rotacional-vibratoria asociada. El infrarrojo lejano, aproximadamente $400\text{--}10\text{ cm}^{-1}$ ($25\text{--}1000\text{ }\mu\text{m}$), que se encuentra adyacente a la región de microondas, tiene poca energía y se puede utilizar para espectroscopia de rotación.

En el análisis FTIR las moléculas absorben las frecuencias emitidas por el infrarrojo, a lo cual se le denota como absorbancia. Esta absorbancia se presenta mediante frecuencias de resonancias que son graficadas por la máquina. Las energías se ven afectadas por la forma de las superficies de energía potencial molecular, las masas de los átomos y el acoplamiento vibrónico asociado. Es importante recordar que las frecuencias de resonancia se encuentran vinculadas con la fuerza del enlace y la masa de los átomos en cada extremo de este.

Cuadro 1.1. Número de modos vibracionales

Simetría / Dirección	Simétrico	Antisimétrico
Radial	 Estiramiento simétrico	 Estiramiento antisimétrico

Latitudinal	 De tijera	 Balanceando
Longitudinal	 Meneando	 Retorciendo

Para que un modo de vibración en una muestra esté "IR activo", debe asociarse con cambios en el momento del dipolo. No es necesario un dipolo permanente, ya que la regla requiere solo un cambio en el momento del dipolo.¹ Una molécula puede vibrar de muchas maneras, y cada una de ellas se denomina modo vibracional.

1.5.2 Calorimetría Diferencial de Barrido

Es una técnica que es utilizado para realizar análisis térmico el cual analiza el efecto de la temperatura sobre la variación de la capacidad calorífica (C_p) de una muestra. Para llevar a cabo este análisis, es necesario una muestra previamente pesada, posteriormente se somete a frío o calor con el objetivo de verificar los cambios que se originan en su capacidad calorífica.

Esta técnica nos ayuda a detectar transiciones tales como son los puntos de fusión, transiciones vítreas, cambios de fase y curado. Por su confiabilidad y con el propósito de conocer los grados de temperatura que puede resistir algún tipo de material la técnica DSC es altamente utilizada en diferentes tipos de productos por diversas empresas.

Para el desarrollo de este trabajo de investigación, fue muy importante la aplicación de esta técnica, debido a que, para llevar a cabo el tratamiento hidrotérmico, necesitábamos

conocer ciertos criterios, que no deformen el material ni lo vuelvan quebradizo, sino que tengamos una idea del rango de temperatura ideal a usar para dicho tratamiento.

1.6 ASPECTOS QUÍMICOS DE LAS REACCIONES A LA INTEMPERIE

Aspectos químicos de las reacciones a la intemperie La luz solar, especialmente una pequeña porción de la luz ultravioleta es el principal instigador de las reacciones a la intemperie. La consecuencia inmediata de la interacción de la madera con la luz es la generación de radicales libres en la superficie expuesta. A medida que estos radicales libres lábiles terminan y se estabilizan, se forman grupos cromofóricos y auxocrómicos y se produce decoloración y deterioro.

1.6.1 Meteorización

Es el efecto que se presenta en las diferentes materias que se encuentran en la intemperie, donde los minerales entran en contacto directo con la atmosfera; entonces al interactuar con las variaciones de temperaturas, sobras ocasionadas por las nubes, los vapores desprendidos del suelo, el aire y el clima, las propiedades de un cierto tipo de material van cambiando de forma química, morfológica y física; dependiendo del tipo de material pueden aumentar o disminuir tamaño, densidad, volumen, color, dureza, etc.

Existen 3 tipos de meteorización: mecánica, química y biológica -orgánica. Sin embargo, cada tipo de meteorización se clasifica en factores físicos, químicos o biológicos.

La meteorización mecánica depende fuertemente a fuerzas que pueden destruir las rocas en una forma mecánica. Entre ellas se encuentran: meteorización por helada, cambio de la temperatura, meteorización por hidratación y/o cristalización de sales.

La meteorización química incluye todos los procesos relacionados a procesos químicos. Entre los más importantes se encuentran: oxidación, reducción e hidrólisis.

Por último, la meteorización orgánica biológica se presenta mediante la expulsión de los ácidos producidos por las plantas, los cuales pueden en su momento, llegar a dañar el suelo y las rocas. Entre los más desatacados se encuentran: bacterias y raíces de plantas

1.6.2 Fotoquímica

Se presenta cuando la luz es absorbida por una sustancia química, la cual nos permite estudiar el comportamiento de las moléculas o electrones que se encuentran presentes. Ya que existen electrones que se encuentran en fase de excitación, lo que le puede permitir la suficiente potencia para donar un electrón.

Por lo que en este tema de investigación se utilizó la luz solar para poder tener una reacción fotoquímica, la cual nos permitió obtener ciertos criterios de oxidación y reducción en las muestras tratadas.

1.6.3 Daños biológicos causados por la luz

El exceso de absorción de energía luminosa o reacción fotoquímica en exceso pueden causar daños irreversibles a todo tipo de material o materia, debido a la interacción de sus moléculas que pueden ser partícipes en reacciones indeseables, lo cual puede causar un estado de descomposición. Estas moléculas posteriormente pueden actuar como fotosensibilizadores, un ejemplo de este es la cerosporina, ya que es una molécula producida por algunos hongos fitopatógenos que al tener contacto directo con la luz causan daños a las membranas celulares, y las fagopirinas, estas son producidas por la enredadera anual *Polygonum convolvulus* y que causa fotosensibilización en los animales que de ella se alimentan.

Los fotosensibilizadores pueden causar daños biológicos por uno o dos mecanismos diferentes. El primer mecanismo es la interacción directa del fotosensibilizador con alguna otra molécula para liberar un electrón o un protón (H^+) y formar así un radical libre. Los radicales orgánicos libres pueden reaccionar dentro del ambiente acuoso de la célula para formar peróxido de hidrógeno (H_2O_2) y superóxido (O_2^-). El segundo mecanismo de daño

puede ocurrir cuando la energía es transferida de los electrones en un estado triplete de los fotosensibilizadores al oxígeno molecular (O_2), formando oxígeno en estado simple ($1O_2$).

1.6.4 Interacción de la luz electromagnetica con las Biomoléculas

Para continuar con vida tanto las células como los organismos necesitan abastecimiento constante de energía, de lo contrario se degradan; la mayoría de los organismos necesitan de la energía solar para poder subsistir. Esta mediante los llamados fotones, los cuales presentan longitudes de onda características. Es muy importante recalcar que los fotones con mayor longitud de onda presentan menor energía y por lo tanto una menor longitud de onda presentan mayor energía.

Una de las principales características de las plantas es que utilizan la reacción fotoquímica para producir la llamada fotosíntesis, por lo tanto, al ser la materia prima un cogollo (parte de una planta de Jipijapa) la reacción fotoquímica estará presente.

1.6.5 Radiación solar

La radiación UV-B es aquella comprendida entre las longitudes de onda 280 y 320 nm. Los otros componentes de la radiación UV son la radiación UV-C, comprendida entre los 200 y 280 nm, y la UV-A entre los 330 y 400 nm. Esta última radiación es poco absorbida por el O_3 , por lo que llega en mayor cantidad a la superficie de la Tierra y constituye una importante señal fotomorfogénica en las plantas y es la menos dañina. Por el contrario, la UV-C es la más energética y dañina para el ADN. Sin embargo, por ser la más absorbida por el oxígeno (O_2) y el O_3 de la estratosfera prácticamente no llega a la superficie terrestre.

Debido a la alta radiación solar la celulosa sufre oxidación, lo cual produce su envejecimiento y deterioro, a consecuencia de esto algunas fibras naturales obtienen un color amarillento, esto significa que la fibra pierde fortaleza, flexibilidad y resistencia. Por lo tanto, las palamas de Jipijapa al ser una planta y tener contacto directo con el sol, así como absorbe energía también va perdiendo algunas características, posteriormente al ser tratadas por todos los procesos para la obtención del sombrero y ser expuesta para ser secado la radiación solar le continúa haciendo cambios.

1.7 COLORIMETRIA

Durante mucho tiempo se ha buscado una interrelación entre la percepción visual y la medida del color. A partir de esto surge La Commission Internationale de l'Eclairage (CIE) quien propone sistemas de especificación de color: CIELAB y CIELUV. Sistemas que describen los colores que percibe el ojo humano independientemente del equipo que use como referencia.

Los valores L^* , a^* y b^* de un color en el modelo cromático del sistema CIELAB, se obtienen a partir de los valores triestímulo X, Y y Z. Donde dichas coordenadas representan la claridad del color (L), la posición entre el rojo y verde (a^*) y la posición entre el amarillo/azul (b^*):

Cuadro 1.2. Coordenadas CIELAB

Valor	Mayor	Menor
L^*	Blanco difuso (100)	Negro (0)
a^*	Rojo (+)	Verde (-)
b^*	Amarillo (+)	Azul (-)

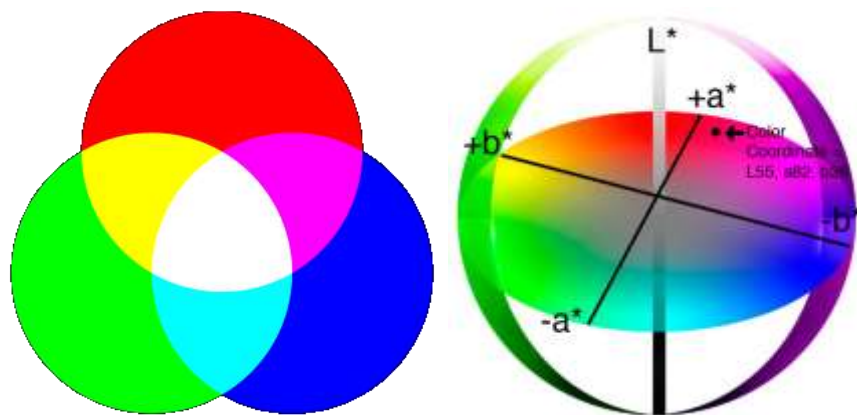


Figura 1.1. Sistema de color RGB y la distribución tridimensional del sistema CIELAB.
(Fuente: <https://sobrecolor.es.blogspot.com/2010/03/modo-de-color-lab.html>)

Las siglas RGB (Red, Green, Blue) pertenecen al modelo de color basado en la síntesis aditiva, es decir un color puede obtenerse por la mezcla de los tres colores de luz primarios. Es importante destacar que las conversiones entre valores RGB (CMYK) y $L^*a^*b^*$, dependen específicamente del dispositivo de medición. Dado que la coordenada L representa la luminosidad que depende de la fuente de luz utilizada, implica un valor cerrado entre 0 a 100; en tanto las coordenadas a^* y b^* proporcionan intervalos de color que son dependientes de la posición en el espacio de color, de ahí que pueden convertirse a valores de X e Y (asociados al sistema RGB), y viceversa.

De acuerdo con Richard S. Hunter, el valor de L esta correlacionado al valor triestimulo Y, utilizando la aproximación de Priest al valor de Munsell: $L=100 (Y/Y_n)^{(1/2)}$, donde Y_n es un valor obtenido de un objeto blanco específico (Ley de Lambert). En tanto, a y b, están en función de coeficientes dependientes del iluminante ($K_{D65}=172.3$ y $k_{D65}=67.2$)

1.8 JUSTIFICACION.

En el municipio de Bécal, hay varias familias artesanas que se dedican a la producción de sombreros de Jipijapa, la cual es una cultura local, y una estrategia familiar para enfrentar las adversidades económicas y sociales. Sin embargo, la reducida inclusión comercial al no tener los conocimientos/capital para desarrollar nuevas estrategias en el mercado, convierte una actividad artesanal en un medio de subsistencia económica. Esto influye a que no desarrollan un tratamiento hidrotérmico controlado, así como nuevas técnicas del proceso de blanqueado, es decir, utilizan la misma técnica de sus antepasados.

Actualmente la comercialización de artesanías basadas en la planta de Jipijapa (Carludovica Palmata), accesorios y sombreros, presentan una dependencia en la calidad de la fibra obtenida de los tratamientos hidrotérmico y de las condiciones ambientales. Además de que la operatividad de los secados al aire libre y el blanqueo con azufre en hornos de leña, hacen que el proceso requiera de espacios abiertos. En tanto, los malestares e infecciones respiratorios de los artesanos, y quienes consideran como una parte necesaria del trabajo cuando esto realmente implica un costo.

Cuando se habla del tratamiento hidrotérmico controlado, nos referimos de que es necesario establecer un estándar de temperatura y tiempo que dicho proceso debe llevar, de tal forma que, al término del proceso, estemos seguros de que obtendremos la fibra de jipijapa en condiciones de buena calidad, para continuar con el siguiente proceso. Esto es necesario, ya que actualmente, este proceso se elabora tanteado, ya que los artesanos solo observan de manera física (ojométricamente, podemos decir) y pues en ocasiones al no tener las características óptimas, implica que el siguiente proceso tendrá más demora (proceso de blanqueado).

En el proceso de blanqueado de fibras naturales, se involucran procesos donde se utilizan reactivos químicos que promueven la deslignificación (con diversos métodos de pulpeo) y las posteriores etapas de blanqueado con reactivos ácidos o bases (dependiendo del tipo de fibra). Sin embargo, las propiedades finales (como la estabilidad dimensional y rigidez) de las fibras dependen, además, de otros factores involucrados durante su preparación; como la humedad y el contenido holocelulósico. Aunado a todo lo anterior, dichos procesos hidrotérmicos y de blanqueado, generan efluentes contaminantes que comúnmente son vertidos a los cauces naturales, creando un foco de contaminación. Y si agregamos a esto, que es común se realicen repeticiones debido a tratamientos no controladas y a condiciones climáticas adversas, que no favorecen la obtención de fibras de jipijapa útiles para las artesanías, entonces podremos observar que allá hay un grave problema que se tiene que solucionar.

De tal forma que en este proyecto se pretende encontrar las condiciones más favorables para tanto blanquear la fibra como encontrar propiedades mecánicas de interés, utilizando un proceso controlado. Cuyos resultados serán comparados con el proceso artesanal desde un punto de vista económico, salud y ambiental.

De este análisis teórico surgen las siguientes preguntas (sistematización):

1. ¿Qué propiedades se pierden en el tratamiento hidrotérmico del jipijapa?
 2. ¿Cuál temperatura es la adecuada para realizar el proceso hidrotérmico al jipijapa?
 3. ¿Por qué se necesita dejar tanto tiempo las fibras de jipijapa al sol en condiciones de humedad baja?
 4. ¿Las propiedades mecánicas de las fibras son mejores posterior al blanqueado?
-

5. ¿Por qué se usa el azufre para el tratamiento de fibras? ¿hay alguno otro reactivo?
6. ¿Cuál es la propiedad más requerida para los artesanos (rigidez, dureza, resistencia a la tensión)?

Actualmente no se ha desarrollado alguna publicación para encontrar las características idóneas de las fibras que sean óptimas para esta actividad de entretejido de fibras para elaborar sombreros. Cabe mencionar que la técnica de blanqueado de la fibra mediante azufre es viable, siempre y cuando sus vapores sean neutralizados y que ofrezca la blancura que exige el artesano; Por lo que es factible determinar las condiciones adecuadas para alcanzar propiedades físicas (color, calidad y resistencia) que permitan manipular las fibras por largos periodos sin que estas se fracturen prematuramente.

El proyecto podrá beneficiar a los pobladores de la localidad de Bécal que se encuentra en el Municipio de Calkiní en Campeche. Con una población de 6,511 habitantes (INEGI, 2010), de los cuales el 70% se dedica a las artesanías en general, y a la confección de sombreros a partir del Jipijapa. De acuerdo al INEGI (2015), la población de Becal, se ubica entre las localidades de media marginación, rezago social e indicadores de carencia de vivienda.

1.9 OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN

1.9.1 Objetivo general

Analizar y estandarizar el tratamiento hidrotérmico (previo al blanqueado) utilizado en el procesado artesanal de las fibras de Jipijapa en Becal, Campeche

1.9.2 Objetivos específicos

1. Determinar las condiciones y variables utilizadas por los artesanos mediante entrevistas e investigación de campo, para reproducir el proceso de manera controlada.
2. Analizar las propiedades fisicoquímicas, superficiales y mecánicas de las fibras procesadas hidrotérmicamente de forma artesanal.
3. Establecer parámetros Hidrotérmico, físicos y químicos que permitan estandarizar la técnica de tratamiento Hidrotérmico controlado.
4. Analizar las propiedades fisicoquímicas, superficiales y mecánicas de las fibras procesadas hidrotérmicamente de forma controlada.
5. Analizar el efecto del blanqueado mediante tratamientos en peróxido de hidrogeno, y el percarbonato como sustitutos del azufre.
6. Desarrollar una propuesta para las aplicar la técnica de blanqueado con azufre de manera controlada (cámara) y la viabilidad de recuperación de lignina de los vertidos residuales.

2 METODOLOGÍA

2.1 Selección de especímenes

Se seleccionarán 5 palmas de jipijapa, previa determinación localización, variedad y madurez. Se extraerán cogollos y serán desvenados. La cantidad de especímenes será determinada por el número de pruebas a realizar, considerando al menos 3 lotes, para evitar errores de sesgo. Dicha materia prima será transportada en los laboratorios del Instituto Tecnológico Superior de Calkiní en el Estado de Campeche (ITESCAM), donde se llevarán a cabo los análisis.

2.1.1 Preparación de fibras de Jipijapa

Se consiguieron hojas en estado de yema (cogollo) con sus lóbulos plegados, cuyas venas son retiradas mediante rasgado con aguja (desorillado). Manojos de fibra de Jipijapa de la comunidad de Becal (Campeche, México) sin tratamiento. Los manojos fueron tratados con el proceso tradicional en el cual las hebras de Jipijapa son hervidas en un baño de agua por 10, 15 y 20 min. Secadas al sol directo y en estufa de vacío a 100°C por 24 hr.

2.2 Tratamiento hidrotérmico artesanal

Se realizará el tratamiento hidrotérmico en el lugar y bajo las indicaciones de los artesanos, hasta el proceso de secado: 30 min a 1 hora en agua hirviendo, y secado al aire libre en día soleado y sin riesgo de lluvia. Se tomarán lecturas de radiación solar, humedad, hora y fecha.

Las muestras serán recogidas a los tiempos sugeridos y previa validación del artesano sobre la calidad de las fibras obtenidos. La selección de las mismas será en el sitio del secado y llevadas a un desecador para mantener la humedad.

Se fraccionarán muestras en cortes de 1 cm² para las pruebas fisicoquímicas, y muestras de 1cm de ancho por 5 cm de largo para las pruebas a tensión. El material residual servirá para la determinación de contenido de lignina y otros componentes de interés.

Los resultados serán recabados y graficados, para su posterior análisis con respecto a los resultados que se obtendrán del tratamiento hidrotérmico controlado.

2.3 Tratamiento hidrotérmico (sin presión)

La técnica utilizada de extracción es por el tratamiento hidrotérmico sin presión, que se puede considerar prácticamente económico y de fácil operación, que permite su aplicación para la separación de material soluble sin llegar al deterioro estructural de los materiales lignocelulósicos.

El fraccionamiento acuoso de materiales lignocelulósicos con agua caliente puede llegar a eliminar extractos solubles y hemicelulosa.

La norma ASTM D110, considera dos métodos de extracción de elementos solubles, con agua fría y con agua destilada a 100°C por 3 hr; con un secado posterior hasta peso constante a 100°C. En este estudio, se utilizará la metodología empleada por los artesanos con una adecuación a la norma ASTM D1110 del método 2, dejando las fibras en agua hirviendo por 15 min.

2.4 Tratamiento hidrotérmico controlado

De manera general, se tiene propuesto mantener dos variables independientes como la Temperatura (T) y el tiempo (t), así como tres dependientes (resistencia, color y contenido de lignina):

Cuadro 2.1 Variables de temperatura y tiempo

Temperatura	Tiempo
84 °C ($\pm 1^\circ\text{C}$)	15, 30 y 45 min
90 °C ($\pm 1^\circ\text{C}$)	15, 30 y 45 min
100 °C ($\pm 1^\circ\text{C}$)	15, 30 y 45 min

Una vez tratada la materia prima, se someterán a secado a 50°C en estufa de convección, hasta alcanzar un valor de humedad similar a la obtenida en condiciones no controladas (artesanal). Posteriormente se extraerán y colocarán en un desecador con silica gel.

Se fraccionarán muestras en cortes de 1 cm² para las pruebas fisicoquímicas, y muestras de 1cm de ancho por 5 cm de largo para las pruebas a tensión.

Las variables temperatura y tiempo de tratamiento serán evaluados con respecto a la respuesta mecánica, color y contenido de lignina.

2.5 Análisis químico

Caracterización química de fibras antes y después del tratamiento artesanal. El tratamiento de la muestra, los contenidos de humedad, cenizas, proteína cruda, lípidos, extraíbles a la acetona y extraíbles al agua caliente en muestras de fibra de Jipijapa se determinarán usando procedimientos estándares descritos en TAPPI T257, TAPPI T412 om-02, TAPPI T211, NRL/TP-510-42625, AOAC 920.39, TAPPI T204 cm-97 y TAPPI T207 cm-99 respectivamente.

Humedad. Las fibras serán cortadas en 3 cm de largo, para luego ser molidas y pasada por una malla de 1mm. El material obtenido será tamizado en una columna de mallas 40, 60 y 100, seleccionado el material retenido en la malla 60 para las pruebas siguiente.

La humedad de la fibra será determinada por la diferencia en perdida en peso. Cuando esta sea sometida a 50 °C en estufa de convección por 24 horas, y comparada con su peso original antes del secado.

Contenido de grasas. Este procedimiento se realizó en un equipo de extracción llamado Soxhlet, el cual sirve para eliminar ceras, grasas y resinas; para ello, se utilizó varias muestras de fibras de Jipijapa sin tratamiento y con tratamiento, molida y tamizada.

Contenido de lignina. La determinación de lignina será de acuerdo a la norma TAPPI T264 cm-07 para determinar los contenidos de lignina insoluble en ácido alfa,-beta- y gama celulosa, No. Kappa, se seguirán las normas TAPPI T222 om-02, TAPPI T203 cm-99 y TAPPI T236 om-99, respectivamente. El contenido de carbono orgánico total será medido por el método de Nelson y Sommers, 1982. El contenido de holocelulosa se determinará por tratamiento de paja libre de extractivos con clorito de sodio (NaClO_2) y ácido acético (CH_3COOH) (Rabemanolontsoa & Saka, 2011).

Básicamente, la lignina insoluble en ácido (Lignina Klason) será fibra molida en malla 12 o 14, debe estar libre de extraíbles para que se someta a hidrólisis ácida con solución de H_2SO_4 (72% w/w). Después se dispersará el material en el ácido a $20 \pm 1^\circ\text{C}$, manteniendo

en baño a esta temperatura por 2 horas con agitación frecuente. Se continuará la hidrólisis del material diluyendo el H_2SO_4 (3% w/w) por adición de agua desionizada y ebullición a reflujo por 4 horas. Las muestras se van a filtrar y el residuo sólido se secará y pesará para la determinación de la lignina Klason.

2.6 Color externo

La determinación del índice de blancura de las muestras fue considerando que las fórmulas son restrictivas a la coloración predominante y al tipo de equipo utilizado para la medición. En este caso usando la norma ASTM E 313 librado con un estándar blanco en forma de placa ($L = 97,79$, $a = -0,53$ y $b = +2,28$), leyendo con un iluminante de tipo C, obteniendo los factores a , b y L del sistema Hunter.

Se tomarán fotografías de las muestras, con una misma fuente de luz a 2° de incidencia y se compararán tonalidades (grises y claras) para establecer un grado de blancura.

Pérdida de peso: Se determinará hallando la diferencia de peso entre la pesada inicial y el peso hallado en cada fecha de evaluación; método sugerido por Durand (2002) e INDECOPI (2009).

2.7 Tratamientos químicos

Las fibras tratadas hidrotérmicamente ya secadas, se dejarán remojadas en peróxido de hidrogeno por 30 min y 6 horas.

De igual manera se considera el tratamiento por 15, 30 y 60 min en percarbonato de sodio al 10% estabilizado con NaOH al 10%. Posteriormente son lavadas en agua destilada hasta un pH neutro.

2.8 Análisis mecánico

Las pruebas a tensión se realizaron en un maquina universal United Test, con una celda de carga de 50 kN, y una velocidad de deformación de 10 mm/min. Se usaron fibras extendidas con dimensiones de 0.75 a 1 cm de ancho y 15 cm de largo. A estas se colocaron cintas adhesivas hasta generar un grosor de 3 mm, para evitar se rompan las fibras durante el cierre de mordazas.

2.9 Análisis fisicoquímico

2.9.1 FTIR

Se molió una cantidad de la muestra con una sal especialmente purificada (bromuro de potasio) finamente con el propósito de eliminar los efectos de dispersión de los cristales grandes. Esta mezcla de polvo se presionará luego en una prensa hidráulica para formar un gránulo translúcido a través del cual puede pasar el haz del espectrómetro (Espinoza 2015).

Para la caracterización de las fibras se utilizó un espectrógrafo de infrarrojo con transformada de Fourier Thermo Scientific Nicolet 8700, con una resolución de 4cm⁻¹ y un barrido de 4000 a 400 cm⁻¹. Se realizaron 20 escaneos por muestra en el modo ATR.

2.9.2 TGA

Las muestras correspondientes para este tipo de análisis serán molidas, posteriormente se utilizarán tamices 16, 20, 40 100, y 200 para utilizar el polvo de la fibra de jipijapa, para su posterior uso en el equipo TGA marca Perkin Elmer Mod, con el propósito de establecer los procesos degradativos que sufren las fibras tratadas bajo los tratamientos propuestos.

2.10 Blanqueado controlado

El presente prototipo fue diseñado bajo las consideraciones y necesidades de los artesanos del parador turístico artesanal “Jit Pook Cooh”. En dicho parador se tienen a 15 personas, siendo el 90 % mujeres y el 10% varones con edades entre 45 y 68 años de edad. Hablantes de la lengua maya con más de 30 años en el negocio de venta de artesanías y sombreros basados en hoja de la palma de Jipijapa (Carludovica Palmata).

Entre las necesidades se establecieron el manejo práctico, apertura y cierre hermético, con un costo menor a 300 pesos en material y que asegure la homogeneidad del blanqueado. Derivado de experiencias anteriores se considera el manejo de resistencias tipo cafeteras, que pueden ser adquiridas por 30 pesos y estructura de PVC de 4” con costo aproximado de 150 pesos el metro con sus accesorios de cierre.

Entre las consideraciones se estableció manejar un blanqueado inicial de 15 manojos de fibra, previamente rayada y secada al sol, con largo promedio de 80 cm de largo. La naturaleza del vapor es abundante y no mayor a 5 min de impregnación, derivado de los efectos adversos en las fibras y la probabilidad de aumentar la densidad de los vapores en caso de escaparse.

Para el control inicial, se requirió de la adquisición de accesorios de medición de bajo costo y de importancia para el diseño de este. Los dispositivos electrónicos adquiridos permitirán en todo momento evaluar la eficiencia y su reajuste a las dimensiones de interés. Entrega de resultados de medición, escalamiento y resultados de eficiencia para someter el prototipo a revisión.

La cámara debe tener la alternativa de que se introduzca las fibras (la cantidad exacta) y que sea cerrada herméticamente para que no se escape el vapor de azufre, y que durante el servicio cumpla el tiempo de impregnación y posteriormente se neutralice los excedentes de vapor. Para esto la cámara tiene una salida con válvula check (antirretorno) que solo permita reducir la presión interna sin riesgo de apertura. Posteriormente debe ser abierta de manera fácil para el retiro de las muestras (ver figura 2).

Al termino de cada ciclo de blanqueado se usarán 15 grs de azufre para un volumen de la cámara (8.3 m^3) y 15 manojos (250 gr) previamente humedecidos por 5 min y sacudidos. El ciclo de calentamiento fue de 150°C por 50 seg., y se espera que se reduzca la temperatura de la cámara hasta temperatura ambiente para poder extraer las fibras.

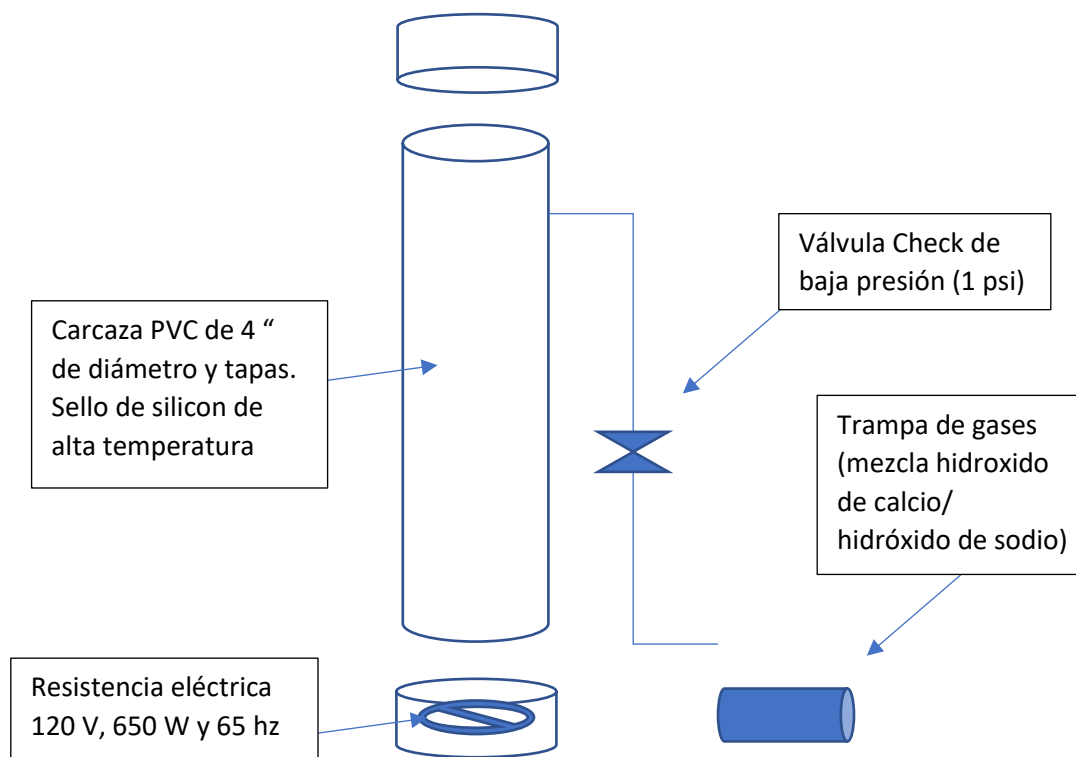


Figura 2.1. Diseño preliminar de la cámara de blanqueado

3 RESULTADOS Y DISCUSIONES

3.1 Análisis por FTIR

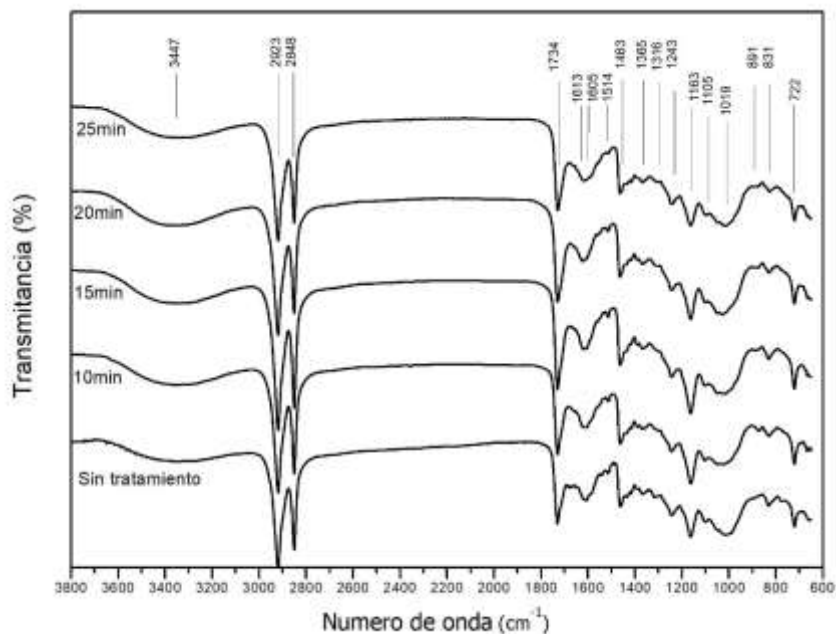


Figura 3.1. Espectros de FTIR de fibras jipijapa tratadas a 100 °C a diferentes tiempos.

La espectroscopia de infrarrojo FT-IR es una técnica no destructiva muy útil para estudiar las propiedades fisicoquímicas de los materiales lignocelulósicos. La Figura 3.1 exhibe las principales bandas de infrarrojo presentes en la muestra de jipijapa previamente tratada hidrotérmicamente a diferentes tiempos. Las bandas de absorción encontradas en las fibras con tratamiento y sin tratamiento, se presentan en el Cuadro 3.1.

Los resultados indican que los tiempos utilizados manteniendo la temperatura de 100°C, no tienen un efecto importante en la composición estructural (hemicelulosa, lignina y celulosa) de la fibra, siendo la composición no estructural (extractos solubles) la que presenta cambios. Las absorbancias a 2923 y 2850 cm^{-1} , presentan un incremento con respecto a la muestra sin tratamiento, lo cual puede indicar una fraccionación de la celulosa y lignina por la pérdida de los compuestos solubles. Siendo que la banda 1105 cm^{-1} normalmente asociada a la hemicelulosa, no presenta cambios de importancia, lo cual indica que el tratamiento aplicado no afecta la hemicelulosa.

CAPITULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIONES

Cuadro 3.1. Datos FTIR del contenido lignocelulósico de la fibra Carludovica Palmata

Numero de onda (Cm ⁻¹)	Compuesto asociado
772	Asociado a presencia de compuestos halogeneados (Cl, Br o I)
831	Deformación C-H (2,5 y 6) aromático fuera de plano en unidades G
870	Vibración C-H (4,5 y 6) fuera de plano en unidades G
891	Vibraciones enlaces (1-4) β-glucosídicos entre xilosa y hemicelulosa
988	Enlaces arabinsilanofurano
1019	Vibración O-H de celulosa, y enlace C-O enlace
1050	Estiramiento C-O, C-C; C-OH enlace de hemicelulosa (xilano)
1105	Estiramiento C-O-C (Hemicelulosa)
1163	Vibraciones asimétricas C-O-C (celulosa b-glucosídica)
1243	Enlaces -OH de grupos fenólicos, flexión C-O y C-H celulosa y hemicelulosa, vibración por enlace con aromáticos lignina
1265	Estiramiento C=O anillo Guayacil
1317	Deformación O-H y -CH ₂ Celulosa, estiramiento C-O de fenoles y C-H de esteres
1362	Vibraciones -OH fenólicos de lignina-Hemicelulosa
1420	Vibración anillos aromático (fenólico) de lignina
1463	Deformación asimétrica C-H (CH ₃ y CH ₂) de lignina
1514	Vibración C=C en anillos aromático de lignina (G-S)
1605	Vibración anillos aromático (fenólico) de lignina
1734	Estiramiento C=O de grupos de lignina y grupos éster hemicelulosa, vibración por enlace con aromáticos de hemicelulosa
2850	Deformación C-H y estiramiento simétrico (CH ₂) de Celulosa y hemicelulosa
2923	Deformación C-H y estiramiento asimétrico (CH ₂) de Celulosa y hemicelulosa
3447	Vibración de grupos -OH

CAPITULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIONES

Las bandas a 1605 y 1514 cm^{-1} pertenecientes a la lignina se mantienen sin cambios aun con el incremento de los tiempos del tratamiento, así como una reducción del pico a 1317 cm^{-1} que corresponde a la celulosa, indicando una pérdida de material desde los primeros minutos del tratamiento. La banda a 1734 cm^{-1} presenta un incremento que se puede asociar a la liberación de material hemicelulósico, enlazado por la lignina solubilizada que fue eliminada.

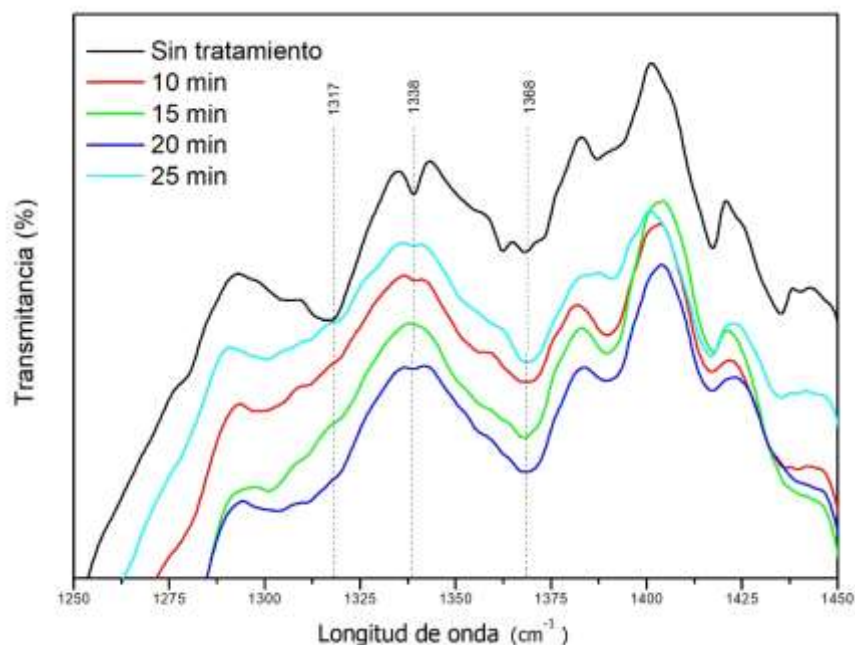


Figura 3.2. Efecto del tratamiento en el Intervalo de celulosa cristalina

Por otro lado, las bandas 1317, 1338 y 1368 cm^{-1} asociadas a celulosa cristalina (Hajji et al, 2015) presentan un cambio importante desde el inicio de los tratamientos a 100 °C (Figura 3.2).

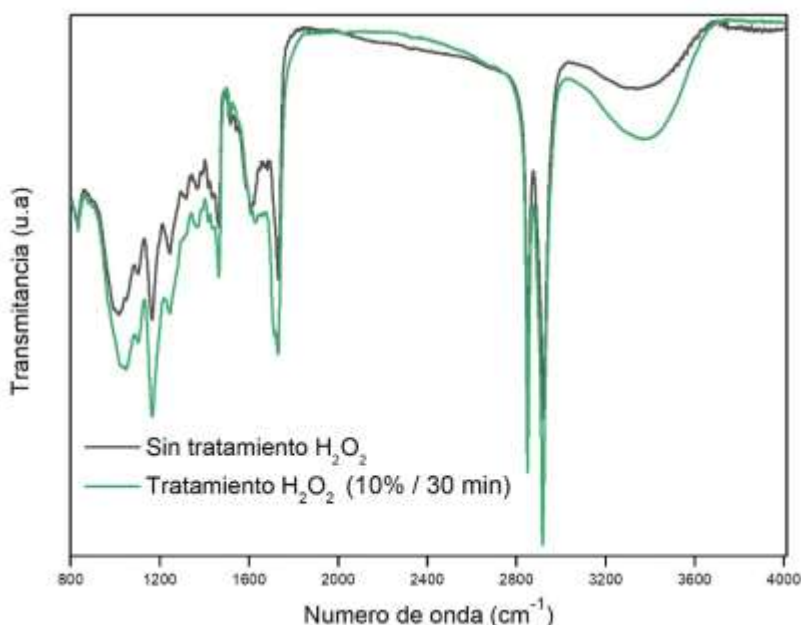


Figura 3.3. Efecto del tratamiento en peróxido en fibras de Jipijapa

En la Figura 3.3, se presenta el efecto del tratamiento de peróxido de hidrogeno en las fibras de Jipijapa previamente tratadas (100°C por 15 min). Se observan aumentos de intensidades específicas, particularmente en las bandas a 1463 cm⁻¹ que indica un aumento de enlaces C-H saturados, por la condensación que provoca el peróxido. De igual manera a 1734, 2850, 2923 y 3447 cm⁻¹ se observan incrementos de las intensidades, asociadas a grupos hidroxilos enlazados a grupos carbonilos; cuyas bandas correspondientes incrementan según se observa en el intervalo de 1100 –1463 cm⁻¹.

Se observa incremento de la banda 1735 cm⁻¹ que corresponde a grupos carbonilos que se liberan de la oxidación de lignina y celulosa, así como una disminución de las bandas 1265 y 1605 cm⁻¹ correspondientes grupos carbonilos y fenólicos de la lignina, respectivamente.

3.2 Análisis térmico (TGA).

La estabilidad térmica de las fibras de Jipijapa se considera de suma importancia para el procesamiento y uso en el tejido de artesanías, principalmente sombreros. Por las características que solicitan los artesanos las fibras deben ser flexibles, baja rugosidad y

CAPITULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIONES

permitir el blanqueado, por lo que deben pasar por tratamientos térmicos y químicos, antes de iniciar el proceso del tejido.

Durante la manufactura de sombreros, estos deben ser manipulados en condiciones de humedad alta para evitar el quiebre de la fibra, y posteriormente deben ser moldeados a temperaturas superiores a los 200 °C para el proceso conocido como “planchado”.

Para las pruebas iniciales por TGA, las fibras de Jipijapa fueron secadas por dos métodos: en condiciones de luz solar por 24 hr (dos días de a 12 hr), y en estufa de vacío a 110°C por 24 hr (Figura 3.4). Cuando estas son secadas en el exterior (sol directo), sus procesos degradativos ocurren de manera aislada, llegando a degradarse casi en su totalidad a temperaturas superiores a los 600°C; en tanto, cuando es secada en estufa de vacío, se presentaron etapas de degradación menos distinguibles que se extienden a altas temperaturas.

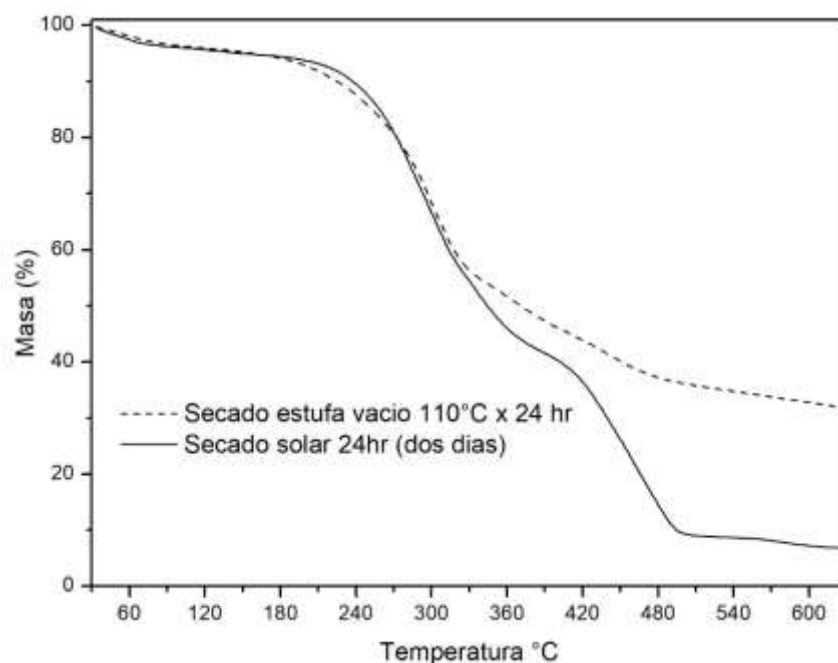


Figura 3.4. Efecto del método de secado en el proceso degradativo de las fibras de Jipijapa.

Raveendrán (1996) llegó a establecer intervalos de temperatura de la descomposición de materiales lignocelulósicos (Cuadro 3.2).

CAPITULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIONES

Cuadro 3.2. Intervalos de degradación para materiales lignocelulósicos.

Zona	Intervalo de temperatura	Cambio observado
I	< 100°C	Eliminación de Humedad superficial
II	100-250°C	Descomposición de extraíbles
III	250-350 °C	Descomposición de hemicelulosa y enlaces glucosídicos de la celulosa
IV	350-500°C	Descomposición de celulosa
V	>500°C	Descomposición completa de lignina

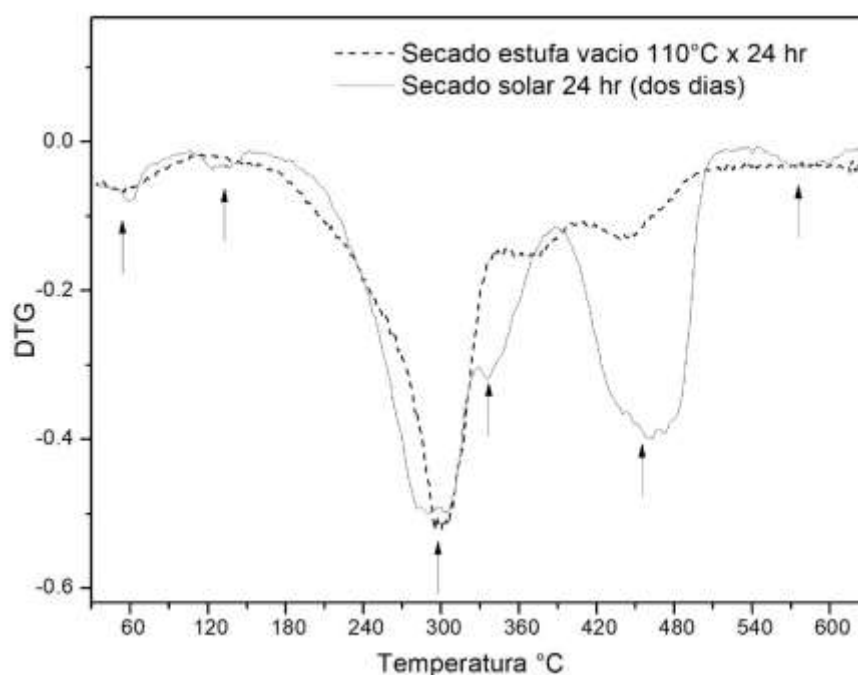


Figura 3.5. Curvas DTG de fibras secadas por diferentes métodos.

En la figura 3.4, se puede observar que las curvas de DTG de la muestra secada en estufa, presenta 5 zonas de degradación provocada al parecer por las condiciones preestablecidas: 110°C, en vacío (reducción de oxígeno) y tiempo (24 hr); provocando la reducción de humedad en la parte interna de las fibras, iniciando la ruptura de enlaces y formación de compuestos (radicales, carbonilos y carboxilos, entre otros). El fraccionamiento de las fases lignocelulósicas (celulosa, hemicelulosa y lignina) presenta un proceso degradativo individual, en zonas de temperatura similares a las reportadas. A diferencia de cuando es

secado al ambiente por radiación solar, que presenta 6 etapas distinguibles, siendo la zona de 180-390 °C la que presenta al menos dos reacciones de descomposición, así como un desfase del proceso degradativo de la celulosa y lignina a altas temperaturas. Esto último, es probablemente debido a la capacidad de absorción de humedad que la fibra adquirió, provocando que eventos de hidrolisis ocurran de manera simultánea con la degradación de las fases involucradas. Analizando las curvas de DTG se observa con más detalle la separación de reacciones de descomposición que pueden asociarse a las fases lignocelulósicas presentes (Figura 3.5).

La primera pérdida de masa que ocurre entre los 50-100 °C se atribuye al agua absorbida, y una segunda etapa en el intervalo de 100-180 °C perteneciente a la descomposición de los elementos extraíbles y al inicio de la degradación de la lignina (Yang, et al 2007). Entre los 190- 330 °C se observa un proceso de descomposición, con un pico definido a 300°C correspondiente a la descomposición de la hemicelulosa; la cual, al estar constituida de varios sacáridos que son fáciles de remover (amorfos, aleatoriamente dispuestos y ramificados) y que favorecen la eliminación de elementos volátiles a bajas temperaturas.

En tanto, la pirolisis de la celulosa ocurre entre 320-415°C, la cual está constituida de cadenas glucosídicas más largas sin ramificaciones, aumenta su estabilidad térmica a altas temperaturas. La degradación de la lignina inicia a bajas temperaturas, sin embargo, casi toda esta se descompone entre los 390-530°C. La volatilización de los residuos carbonizados de la celulosa, hemicelulosa y lignina se observan a temperaturas superiores a los 550 °C.

La radiación UV es más efectiva cuando se reducen los elementos extraíbles, que además de reducir la fotoxidación actúan como plastificantes.

La Figura 3.6, presenta las curvas derivativas (DTG) de fibras de Jipijapa tratadas por 15 min (tiempo promedio usado por artesanos) a diferentes temperaturas, donde se aprecia etapas de degradación claramente distinguibles y el efecto de la presencia de humedad en los procesos degradativos. El efecto del tratamiento térmico a 90 y 100 °C, acelera el proceso degradativo de la celulosa.

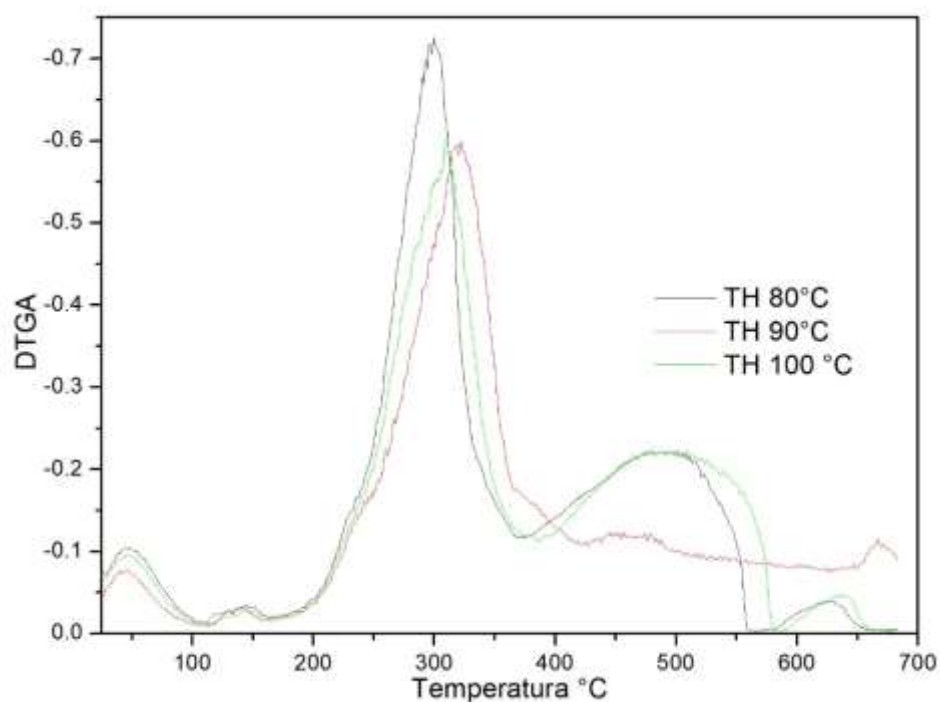


Figura 3.6. Curvas derivativas de TGA de muestras tratadas a diferentes temperaturas

La Figura 3.7, presenta la curva de degradación para una muestra previamente calentada a 100°C por 15 min, enfriada rápidamente en agua templada a 25°C y enfriada lentamente a temperaturas menores de 50°C. La intención de esta prueba es determinar si es posible promover la cristalización de la fase celulósica y su efecto en los procesos degradativos (350-550°C). Se observa que solo existen evidentes cambios en la zona de degradación de la celulosa, lo cual indica que fue posible promover un estado de desorden que se mantiene al enfriar rápidamente (25°C) en comparación con aquellas fibras enfriadas lentamente (50 °C). Se sabe que los procesos pirolíticos y la volatilización de extractos solubles, inician en fases amorfas de la celulosa tal y como se observa en el aumento de la velocidad de degradación de la fibra enfriada a 50 °C.

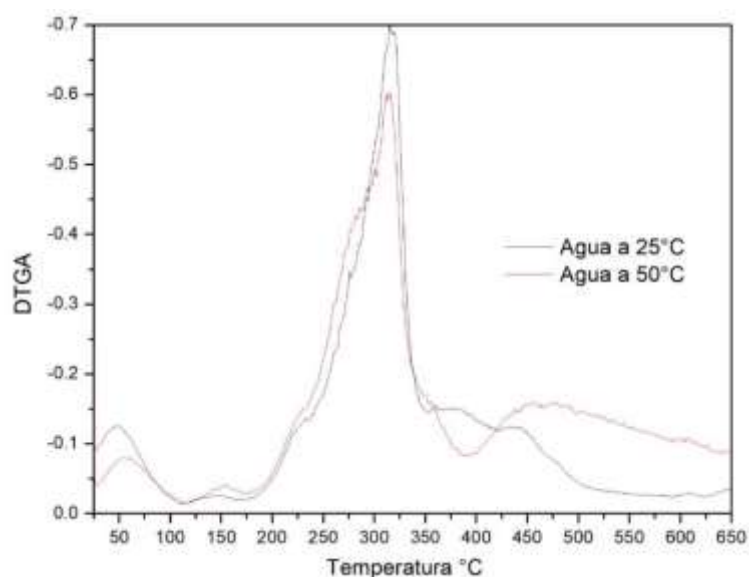


Figura 3.7. Curvas derivativas de TGA de muestras tratadas térmicamente (100°C/15 min) y enfriadas a temperaturas diferentes

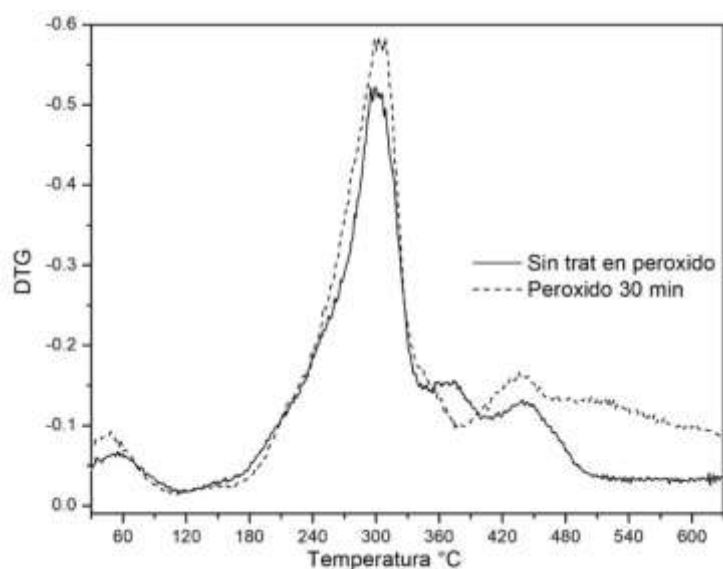


Figura 3.8. Curvas derivativas de TGA de muestras tratada en peróxido

La Figura 3.8 presente las curvas derivativas de TGA, de muestras que fueron tratadas a 100°C por 15 min y posteriormente secadas al sol: sin y con blanqueado con peróxido al 10%. La modificación química con peróxido modifica la velocidad de degradación de la celulosa y lignina.

3.3 Análisis mecánico.

Los resultados a tensión ofrecieron información que permitirá establecer el efecto de los tratamientos fisicoquímicos en las propiedades físicas de las fibras. La Figura 3.9 (a, b y c) presentan los resultados de esfuerzo, deformación y módulo de las fibras tratadas a 80, 90 y 100 °C durante 15 min. Se puede observar que las fibras presentan un comportamiento importante a esfuerzos a 80 °C, similar a lo obtenido a 100°C, pero cuando se trata de deformación a la ruptura es la que mayor flexibilidad ofrecería a pesar de tener un módulo elevado (más rígida).

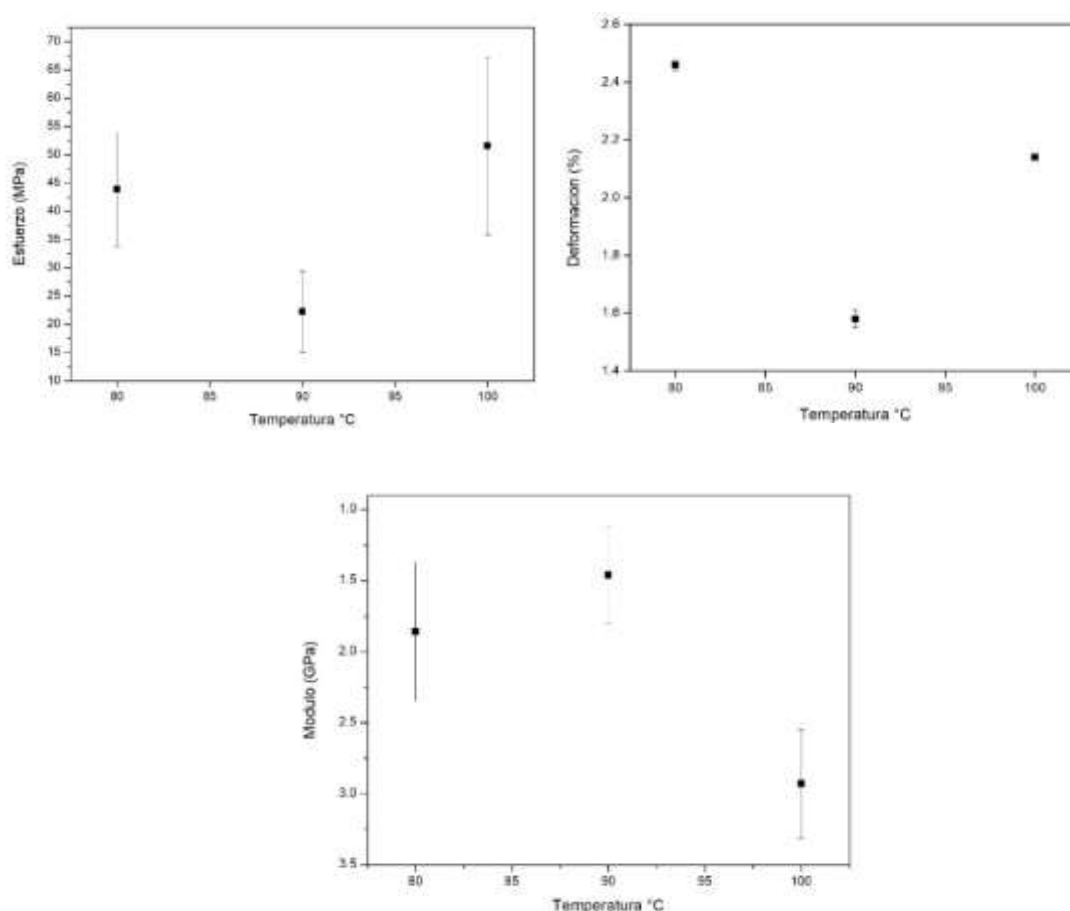


Figura 3.9. Resultado a tensión de fibras tratadas durante 15 min a diferentes temperaturas.

La importancia de que las fibras sean resistentes durante el manejo está relacionada con su rigidez, que permitirá su manejabilidad al momento del tejido, de ahí que se eligió la temperatura de 100 °C para el siguiente estudio. La Figura 3.10, presente el efecto de los

CAPITULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIONES

tiempos utilizados durante el calentamiento en agua a 100°C. Se puede observar que, al comparar las propiedades con la fibra sin tratamiento alguno, existe una tendencia hacia valores mayores, aun con las desviaciones estándar solapadas. La variabilidad de los resultados impide establecer un valor óptimo. Por otro lado, al realizar las pruebas con respecto a la temperatura del enfriamiento se incrementó el esfuerzo en 10 unidades, pero se redujo la deformación un 25 %. Lo cual no sería de utilidad.

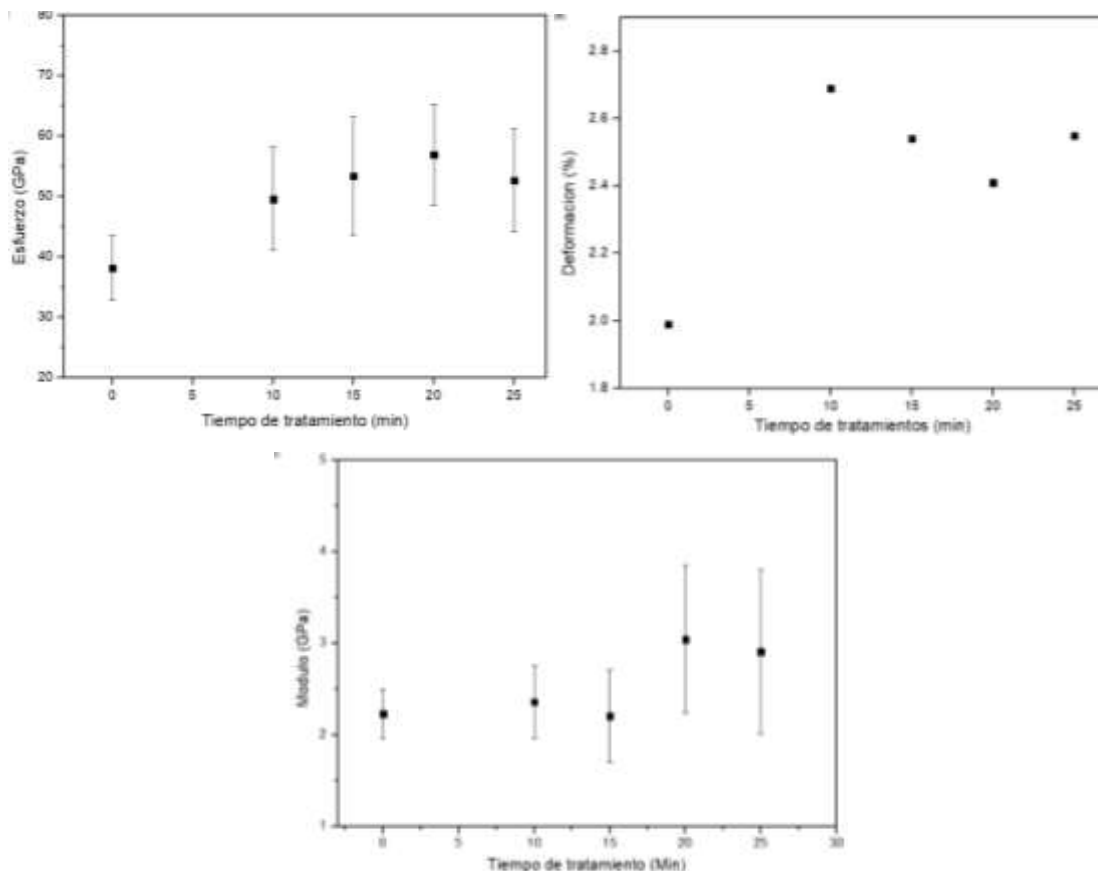


Figura 3.10. Resultado a tensión de fibras tratadas a 100°C a diferentes tiempos.

De los resultados obtenidos se puede deducir, que la temperatura de 100 °C ofrece las mejores propiedades de manejabilidad, alta deformación, usando tiempos cercanos a los 10 min. Por la alta deformación que se presentó, se eligió estas condiciones para el tratamiento con peróxido, de tal forma que se vea menos comprometida la manejabilidad de las fibras.

CAPITULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIONES

Las fibras tratadas a 100 °C por 10 min y secada por radiación solar en un ciclo de 24 hr, posteriormente fueron tratadas en peróxido al 10% durante 30 min, para conocer el efecto en sus propiedades mecánicas. En el Cuadro 3.3, se observa valores similares respecto al esfuerzo y el módulo promovidos por la parte fibrosa, sin embargo, la deformación es mayor lo que puede estar asociado a procesos de plastificación por la presencia de grupos hidroxilos condensados en la fibra; tal y como fue observado por FTIR.

Cuadro 3.3. Resultados a tensión en muestra tratada (100°C por 10 min) en peróxido al 10% por 30 min.

Parámetro	Con peróxido		Sin peróxido	
	Resultado	Desv Std	Resultado	Desv Std
Esfuerzo (MPa)	47.3	9.8783	52.2	4.7910
Deformación (%)	3.8	0.0594	2.6	0.0029
Modulo (GPa)	2.9	0.6647	2.5	0.3241

Estudios han reportado la estabilidad del peróxido en condiciones alcalinas y bajas temperaturas, siendo una concentración adecuada hasta el 4 % de NaOH y temperaturas no superiores a los 80 °C. Sin embargo, se busca reducir los niveles de contaminación ya sea evitando el uso de reactivos o su neutralización.

3.4 Blanqueado de fibras con peróxido de hidrogeno (H₂O₂)

Se trataron manojos de fibras de jipijpa a diferentes concentraciones de H₂O₂, y se analizo la textura al tacto y la coloración, como se muestran en la Figura 3.11. De izquierda a derecha se puede observar a simple vista el efecto de incrementar la concentración de peróxido, particularmente a bajas concentraciones se logra blanquear las fibras, a mayor concentración el deterioro superficial se percibe visualmente un oscurecimiento y al tacto.

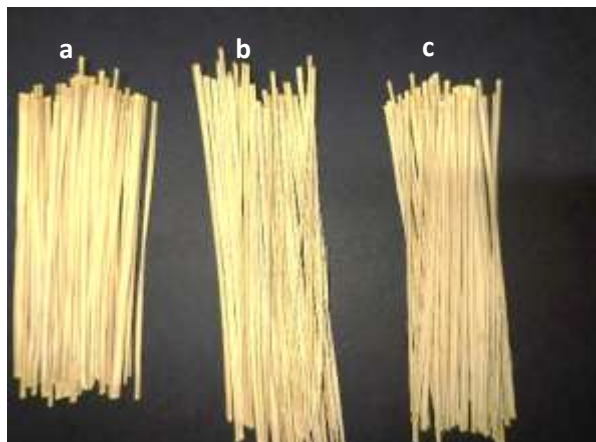


Figura 3.11. Fibras tratadas a concentraciones de H_2O_2 (p/v) por 30 min: a) 2.5 %, b) 5% y c) 7.5%

Se realizó un aumento en la concentración de peróxido con menor tiempo de exposición, lo cual generó características de interés con tonalidades más claras y una textura más lisa. Sin embargo, la cantidad de reactivo se vuelve costoso y el tratamiento de las fibras al ser manual promueve quemaduras por salpicaduras.

3.5 Cámara de blanqueado

Esta cámara fue creada para analizar el efecto de un tratamiento más homogéneo del vapor de azufre y reducir la liberación de vapores que causen problemas de salud, de tal forma que se propuso el diseño y construcción de la cámara. La forma y características se presentan de la Figura 3.12 al 3.15, desde la preparación hasta el acomodo de las fibras, el cierre y apertura.

La resistencia eléctrica fue extraída de una cafetera, siendo su característica principal el valor de potencia de 650 watts. Esta se encendió por un tiempo de 45 seg, ya que en ese tiempo se alcanza cerca de 90 °C donde actúa el termostato; que por la inercia térmica sigue incrementando la temperatura y alcanza en 15 segundos cerca de 215°C sin que se llegue a quemar el fusible térmico que soporta hasta 240°C. La temperatura mayor a 190 °C, es ideal para alcanzar la temperatura Lambda del azufre donde inicia la evaporación.

Las dimensiones de la cámara permiten quemar 14.2 grs de azufre y hasta 23 manojos de fibra seca, alcanzando a saturar todo el volumen de la cámara y por lo mismo, asegurar la

CAPITULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIONES

impregnación de cada parte escondida de las fibras. Fue posible repetir dos ciclos con el mismo azufre quemado.

Se realizaron varios intentos extendiendo el tiempo de impregnación en 30, 60 y 90 min, hasta observar una reducción de los vapores. Posteriormente se establece que 45 seg de encendido de la resistencia ofrece 210 °C, 60 min de impregnación para 23 manojos (350 gr aproximadamente) es un tiempo adecuado para quemar el azufre en su totalidad sin incrementar tanto la temperatura, que pudiese quemar la tubería de PVC.



Figura 3.12. Armado del equipo para el blanqueado de azufre, y adecuación de resistencia



Figura 3.13. Pesado y colocación de azufre en la placa de calentamiento



Figura 3.14. Ingreso de fibra catalogada



Figura 3.15. Armado y cierre

Después de impregnar las fibras con el dióxido de azufre generado de la combustión del azufre, las fibras humedecidas con un porcentaje de humedad cercano al 30 % presentaron un color marfil/amarillo más claro y homogéneo, de mejores características a la que obtienen los artesanos.

La ventaja de utilizar una cámara sellada es que, pasado 1 hora de impregnación, se puede repetir el ciclo de blanqueado. Comparado con las 5 o 6 horas que esperan los artesanos en condiciones a campo abierto, ya que la mayor parte del tiempo se espera a que se disipen los vapores residuales que se encuentran en la cámara.

De manera inicial se tiene desarrollado el siguiente prototipo a nivel piloto, derivado de la baja cantidad de manojos de palma que se tenían dispuestos para las pruebas.

En la Figura 3.16 se observan los manojos de paja de Jipijapa obtenidas de forma artesanal y con el prototipo. Los manojos A y B (sin tratamiento hidrotérmico) fueron secados al sol y con dos azufrados; siendo el manojito B previamente humedecido (aproximadamente con un

CAPITULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIONES

15 % humedad retenida) antes del segundo azufrado. El manojo señalado con la letra C fue primero tratado hidrotérmicamente (100°C por 15 min), secado al sol y su posterior azufrado. El manojo D fue secado al sol, tratado hidrotérmicamente (100 °C por 15 min), secado al sol y su posterior azufrado. El manojo E es la referencia de un manojo tratado artesanalmente (secado al sol, hervido, secado al sol y azufrado). De lo anterior, se puede demostrar que la presencia de humedad reduce el deterioro de la fibra y asegura un blanqueado más homogéneo, siendo que la muestra B presento mejores características físicas ya que al tacto se percibía una superficie lisa.



Figura 3.16. Comparación de manojos tratados en la cámara.

3.6 Tratamiento con percarbonato de sodio

En bases a pruebas preliminares, se determinó utilizar una concentración de percarbonato de sodio al 10 % por 45 min para tratar a las fibras de jipijapa. Se evaluó el efecto de blanqueado en fibras previamente secadas al sol por 24 hr, en fibras obtenidas mediante proceso controlado (100 °C por 15 min, secadas al sol), y otras fibras mediante proceso artesanal blanqueadas con azufre (Figura 3.17).



Figura 3.17. Efecto del percarbonato al 10% por 45 min en: A) fibra secada al sol, B) fibra con tratamiento hidrotérmico y C) fibra artesanal blanqueada con azufre.

De los resultados obtenidos que se muestran en la Figura 3.17, el percarbonato no incrementa la rugosidad de la fibra pero si ligeramente la blancura.

3.7 Angulo de contacto

Al comparar el efecto del peróxido y del percarbonato de sodio, con respecto a las fibras naturales y con el tratamiento hidrotérmico (artesanal y estandarizado), se observó que el percarbonato afecta poco el comportamiento hidrofóbico. Sin embargo, la tonalidad se vio más homogénea en las fibras cuando el percarbonato presento un pH=7.5, siendo este pH el que le confiere más tiempo para la descomposición; lo cual repercute directamente en la estabilidad del oxígeno del peróxido solubilizado.



Figura 3.18. Gota de agua sobre fibras tratadas en H_2O_2

Cuadro 3.4. Resultados de medición de ángulo de contacto en fibras de Jipijapa

Muestra	Angulo	Desv Std
Tratada Percarbonato 30min/ pH7.5	75.2	± 2.1
Tratada H_2O_2 6 hr	63.1 °	± 1.5
Tratada H_2O_2 3 hr	66.2°	± 2.1
Tratada H_2O_2 1 hr	70.2°	± 2.8
Trat. artesanal con azufrado	72.3°	± 1.5
Trat. artesanal sin azufrado	65.2°	± 2.5

Cuadro 3.5. Análisis del comportamiento hidrofóbico de las fibras en función del tratamiento hidrotérmico aplicado.

Muestra	Figura	Angulo
Secado sol directo 5 hr		65 ° (± 1.8) Desecador 50%humedad x 24 h

CAPITULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIONES

Secado sol indirecto (vidrio polarizado 30%) 5 hr,		87 ° (± 0.8) Desecador 50%humedad x 24 h
Secada sombra 5 hr		97 ° (± 2.2) Desecador 50%humedad x 24 h
Muestra azufrado cámara 1 ciclo (humedecida)		100 ° (± 1.8) Desecador 50%humedad x 24 h
Muestra azufrada cámara 2 ciclos (humedecida).		84 ° (± 1.8) Desecador 50%humedad x 24 h
Muestra azufrado cámara (sin humedecer).		79 ° (± 1.5) Desecador 50%humedad x 24 h
Muestra azufrada artesanal y peróxido 10% por 45 min.		64 ° (± 1.5) Desecador 50%humedad x 24 h

CAPITULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIONES

Muestra azufrada artesanal y percarbonato 10% por 45 min.		72 ° (± 0.5) Desecador 50%humedad x 24 h
Muestra en agua 90°C x 15 min.		58 ° (± 2.1) Desecador 50%humedad x 24 h
Tratada artesanalmente		44 ° (± 2.8) Desecador 50%humedad x 24 h
Hoja de Jipijapa natural		95 ° (± 2.2) Desecador 50%humedad x 24 h

De los resultados presentados en la Cuadro 3.5, se puede observar que el comportamiento hidrofóbico de las fibras permanece constante durante su secado sombra y en condiciones del azufrado con humedad.

Cuando son secadas bajo radiación solar con temperaturas entre 35-40°C, la pérdida rápida de humedad promueve el deterioro que provoca la radiación UV en el entramado lignocelulósico.

3.8 Índice de blancura (WI)

La medición del índice de blancura fue realizada con las aplicaciones de Lab Tools (Colorímetro y Análisis de color) con una cámara de 15 Mpa posicionado a 45°; la iluminación se realizó con una fuente de luz LED (2800 lumenes y aprox. 580 nm) posicionada a 90°. Utilizando las mismas condiciones de posición de la muestra, orientación de la fuente de luz y la cámara, se lograron obtener mediciones acordes a la percepción visual. La ecuación que más se ajustó a los valores medidos fue la de Hunter en 1960:

$$WI = L - 3b + 3a \quad \text{Ec. 1}$$

Aunque el valor de L en las muestras de jipijapa presento valores variados entre 73-82 debido a que las muestras se encontraban enrolladas y la iluminación indirecta no favorecía la medición, se logró observar una clara diferencia. La muestra tratada con un ciclo de azufrado en condiciones controladas y el tratamiento en percarbonato fue la de mayor blancura. Como referencia se usaron dos muestras, papel bond que dio un índice de blancura de 93.2 y el patrón con iluminación directa con un WI de 97.6.

Cuadro 3.6. Valores de L, A* y b* para las muestras tratadas y de referencia

Muestra	Color RGB			CIE			Indice de blancura WI (Ec. 1)
	R	G	B	L	a*	b*	
Azuf controlado+percarbonoto	210	205	185	82.3	-1.7	10.6	66.5
Azufrada y 1 ciclo de humedad	195	178	150	73.3	1.6	16.5	47.8
Peroxido 10%	211	197	170	80	0.5	15.3	51.6
Artesanal	213	201	175	81.3	-0.01	14.5	54.1
hoja blanco	194	193	189	81	-0.4	2.1	93.2
Patron blanco	224	217	209	86.5	1.5	3.8	87.9
Patron blanco iluminacion directa	255	255	255	99.5	1	-0.7	97.6

El valor de b* presento una medida de 14-16 que corresponde a la zona de amarillos claros, con tonos verdes correspondientes al valor de a* que se encontró en -0.1 correspondiente a los tonos ligeramente verdes para azufrados y tonos ligeramente rojos para 1.6.

4. CONCLUSIONES

Actualmente la comercialización de artesanías basadas en la planta de Jipijapa (Carludovica Palmata), accesorios y sombreros, presentan una dependencia en la calidad de la fibra obtenida de los tratamientos hidrotérmicos y de las condiciones ambientales. Además de que la operatividad de los secados al aire libre y el blanqueo con azufre en hornos de leña, hacen que el proceso requiera de espacios abiertos.

La obtención del Jipijapa se obtiene durante la época de otoño e invierno, y ello significa que no son autosuficientes en la producción. Por lo que en los periodos de sequía se considera necesario mantener hidratadas las pocas plantas que poseen, lo cual incrementa los costos de producción. En tanto, los malestares e infecciones respiratorios de los artesanos, y quienes consideran como una parte necesaria del trabajo cuando esto realmente implica un costo.

Por la naturaleza de la hoja de Jipijapa esta requiere de pretratamientos físicos y químicos para eliminar tanto elementos solubles como decolorar la fibra, sin embargo, el tratamiento hidrotérmico superior a los 30 min y un secado al sol directo promueve un incremento del proceso degradativo de la fibra. Si bien, al fraccionar las estructuras presentes, se facilita el ingreso de la humedad y promueve la degradación inicial de la celulosa o hemicelulosa más expuesta a la superficie. Sin embargo, se observa que, al mantener los niveles de hemicelulosa y celulosa altos, asegura un comportamiento mecánico idóneo para el tejido de la hoja.

El blanqueado con percarbonato es mucho menos contaminante que el blanqueado con azufre. Además, que incrementa la blancura a mayores tiempos del tratamiento de la hoja de Jipijapa, pero se requiere aumentar el pH con hidróxido de sodio.

El proceso de blanqueado con azufre fue reproducido en pruebas piloto, con una cámara sellada y se logró homogenizar el blanqueado si exponer al usuario a los vapores. Se pretende acondicionar la cámara con una salida alterna para los vapores residuales de azufre para su neutralización con hidróxido

A partir de los resultados obtenidos se pudo lograr propiedades mecánicas adecuadas, comportamiento hidrofóbico intermedio, una textura lisa y tonos más claros, usando percarbonato de sodio con bajas concentraciones de NaOH; Siempre que las fibras sean

CAPITULO 4. CONCLUSIONES

secadas a media sombra con una humedad cercana al 50 % o con el tratamiento hidrotérmico de 90°C por 15 min, para su posterior tratamiento en la cámara de azufrado.

En cuanto a los resultados se logró obtener un tono más claro y homogéneo con el proceso de remojo antes del segundo azufrado. Es probable que si se remoja el manojo previamente secado al sol y remojado antes del primer azufrado se obtengan diferentes resultados.

De tal forma que con en este prototipo que estará compuesto de una cámara para blanqueo controlado, aplicando componentes tecnológicos que mitiguen el daño a la salud y al ambiente; así como promover un proceso estandarizado en actividades artesanales que optimicen la producción y beneficie la economía del productor. Se espera desarrollar adecuaciones más tecnológicas para ser patentadas en la brevedad.

Existen cooperativas y comercios, que establecen que derivado del largo proceso de preparación de fibras encarecen sus productos y dificultan su comercialización. Por lo que este prototipo permitirá acelerar el blanqueado de la fibra sin deteriorar las características físicas; además es posible identificar parámetros y condiciones que permitan estandarizar tonalidades de la fibra. Todo esto de alguna forma incrementaría la competitividad y la calidad del producto, y con el menor riesgo de enfermedades crónicas derivadas de los vapores de azufre.

BIBLIOGRAFÍAS

1. Álvarez, L. 2014. Plantas promisorias de uso alimenticio del Darién, Caribe colombiano. Boletín de Antropología 29(48): 41-65.
2. Bennett, B. C., Alarcón, R., and Cerón, C. (1992). The ethnobotany of *Carludovica palmata* Ruiz & Pavón (Cyclanthaceae) in Amazonian Ecuador. Econ. Bot. 46: 233-240.
3. Carter, H.A., (1996). The chemistry of Paper Conservation, part 2 The yellowing of Paper and Conservation Bleaching. Journal of Chemical Education. Vol. 73, No. 11.
4. Córdoba, F.J. and Portilla, J.C. 2005. Orientaciones para el manejo técnico del cultivo de la palma de iraca. Primera edición. ONUDI -Artesanías de Colombia, Bogotá, Colombia. p. 3- 14.
5. Elaboración de un sombrero de jipi, paso a paso - Jipijapa Hats. Disponible en: <https://jipijapahats.com/elaboracion-sombrero-jipi-paso-a-paso/> [Acceso 15 Octubre 2022]
6. Estrada, M.M. 2010. Extracción y caracterización mecánica de las fibras de bambú (*Guadua angustifolia*) para su uso potencial como refuerzo de materiales compuestos. Tesis de maestría. Universidad de los Andes. Colombia. 146 p.
7. Galviz-Quezada, A., Ochoa-Aristizábal, A.M., Arias-Zabala, M.E., Ochoa, S., Osorio-Tobón, J.F. 2019. Valorization of iraca (*Carludovica palmata*, Ruiz & Pav. infructescence by ultrasound assisted extraction: An economic evaluation. Food and Bioproducts Processing 118: 91-102.
8. Gómez, T.J., Sánchez, M.A. Rivera, L.R.. 2011. El manejo de semilla de *Carludovica palmata*. Ruiz y Pavón. (Palma jipi) para la producción de plantas. p. 44. En: VI Reunión Nacional de Innovación Forestal. León, Guanajuato.
9. Hajji, L., Boukir, A., Assouik, J., Kerbal, A., Kadjout, M., Doumenq, P., De Carvalho M.L. A Multi-Analytical Approach for the Evaluation of the Efficiency of the Conservation-Restoration Treatment of Moroccan Historical Manuscripts Dating to the 16th, 17th, and 18th Centuries. Appl Spectrosc. 2015 Aug;69(8):920-38. <https://doi.org/10.1366/14-07688>. Epub 2015 Jul 1. PMID: 26162347.
10. Hoyos-Sánchez, R. A., Chicaíza-Finley, D., Zambrano-Arteaga, J. C. (2020). Multiplicación in vitro de palma de iraca (*Carludovica palmata* Ruiz & Pavón).

Revista Facultad Nacional De Agronomía Medellín, 73(1), 9039-9046.
<https://doi.org/10.15446/rfnam.v73n1.80139>

11. Kakani, V.G.; Reddy, K.R.; Zhao, D.; Sailaja, K. 2003. Field crop responses to ultraviolet-B radiation: a review. *Agr Forest Meteorol* 120 (1-4): 191-218.
12. López L.; Sarmiento, A.; Fajardo, J.; Valarezo, L. y Zuluaga, R. (2013). “Determinación del porcentaje de humedad, solubles e insolubles en agua de la fibra de *Carludovica Palmata* (paja toquilla)”. *Ingenius*, 9: 23-27.
13. Montgomery, D. Design and analysis of experiments. Fifth Edition. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1997.
14. Moo-Huchim, V., Rios-Soberanis, C., Bello-Pérez, L., Cervantes, M., Dzul-Cervantes, M., Estrada-León, R. (2019). Extraction and Characterization of Natural Cellulosic Fiber From Jipijapa (*Carludovica palmata*). *Chiang Mai Journal of Science*. 46. 579-591.
15. Muñoz, R. M., Tuberquia, M. D. (1999). Estudio preliminar para el manejo sostenible de *Carludovica Palmata* como materia prima en producción de papel. *Actual Biol*, 21:87-96.
16. Ortega-Haas, J. J., Pat-Fernández, J. M., Gómez-Álvarez, R. y Manzanero-Acevedo, L. A. (2020). Vermicomposta en el crecimiento y nutrición de *Carludovica palmata* R. & P. en Campeche, México. *Terra Latinoamericana* 38: 883-893.
17. Pat-Fernández, J.M. (1999), Modernización agrícola y diferenciación campesina en la comunidad maya de Hecelchakán, Campeche, *Revista Mexicana del Caribe*, 7: 132-134.
18. Pérez, M.M.A., Sánchez, H.R., Palma, L.D.J., Salgado, G.S. 2011. Caracterización química del compostaje de residuos de caña de azúcar en el sureste de México. *Interciencia* 36(1).
19. Prado, M. M., 2012. Caracterización de hojas de mazorca de maíz y de bagazo de caña para la elaboración de una pulpa celulósica mixta. *Madera y Bosques* 18(3):37-51.
20. Raveendran, K., Ganesh, A.K., Khilar, C. (1995). Influence of mineral matter on biomass pyrolysis characteristics. *Fuel* (74):1812–22
21. Rengifo, G. y V. P. Zanabria. (2001). Experiencias de manejo de bombonaje o paja toquilla (*Carludovica palmata*). ITDGPerú. Lima, Perú. ISBN:9972470814.

22. Te-Velde, D.W., Rushton, J., Schreckenberg, K., Marshall, E., Edouard, F., Newton, A., Arancibia, E. (2006). Entrepreneurship in value chains of non-timber forest products. *Forest Policy Econ.* 8(7):725-741.
23. Toledo, V. M., N. Barrera-Bassols, E. García-Frapolli., Alarcón-Chaires, P. (2008), Uso múltiple y biodiversidad entre los mayas yucatecos (México), *Interciencia*, 33 (5):345-352.
24. UNEP. 2002. Executive Summary. Final of UNEP/WMO Scientific Assessment of Ozone Depletion: Prepared by the Scientific Assessment Panel of the Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer. UNEP, Nairobi.
25. Yang, H., Yan, R., Chen, H., Lee, D. H., & Zheng, C. (2007). Characteristics of hemicellulose, cellulose, and lignin pyrolysis. *Fuel*, 86, 1781–1788