

EL ÁRBOL DE MAJAGUA, *HELIOCARPUS DONNELL SMOTHII*, COMO PLANTA ÚTIL PARA LA OBTENCIÓN DE FIBRAS CELULÓSICAS PARA PAPEL DE RESTAURACIÓN Y CONSERVACIÓN

Bruno Becerra Aguilar^{1,*}, Guadalupe Zepeda Martínez¹, Rubén Sanjuán Dueñas¹, José de Jesús Vargas Radillo¹, Maite Rentería Urquiza²

1) Universidad de Guadalajara, Departamento de Madera, Celulosa y Papel. km 15,5 Carretera a Nogales, Las Agujas, Municipio de Zapopan, Jalisco, Apartado Postal 52-93, 45020, Guadalajara, Jalisco, México. Correo electrónico: bbecerra@dmcyp.cucei.udg.mx

2) Departamento de Química, Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías, Universidad de Guadalajara, Blvd. Marcelino García Barragán #1451, 44430. Guadalajara, Jalisco, México.

Recibido: Marzo 2013; Aceptado: Junio 2013

RESUMEN

En la actualidad, el patrimonio documental, es decir, la memoria colectiva y registrada de un pueblo, su memoria cultural y social, se encuentra almacenada en bibliotecas, archivos, museos y lugares de custodia de todo el mundo. Un elevado porcentaje de esa información colectiva registrada corre peligro de desaparecer por la degradación natural del papel en el que está plasmada. El papel es testimonio de las posibilidades tecnológicas de la época en que fue fabricado a la vez que apuntador del pensamiento de los hombres que vivieron en ese momento. Por eso, tiene sentido pensar en su conservación y restauración, tanto desde un punto de vista material como desde la óptica del conocimiento, y todos los esfuerzos que se hagan para su conservación son relevantes. En este artículo se presentan los resultados obtenidos en la caracterización química y morfológica de las fibras de *Majagua* (*Heliocarpus Donnell Smithii*). También se determinaron las condiciones de pulpeo más apropiadas para esta fibra y se analizaron las características del papel fabricado con esas fibras, prestando atención en el porcentaje de la celulosa, como polímero natural base. Este papel que podría utilizarse para la restauración de documentación antigua.

Palabras clave: *Majagua* (*Heliocarpus Donnell Smithii*), caracterización química, morfología de fibra, pulpa celulósica, papel

ABSTRACT

Nowadays, the documentary heritage, the registered and collective memory of a people, their cultural and social memory is stored in libraries, archives, museums and places of custody around the world. A high percentage of this information is in danger of disappearing by natural degradation of the paper which is in. The paper is testimony to the technological possibilities of the time in which it was written as well as men's thought key whom lived at that time. This is the reason we must conserve and restore it, from a material point of view and from the perspective of knowledge. All the efforts that are made for its preservation are relevant. This article presents the results obtained in chemical and morphological characterization of fibers of *Majagua* (*Heliocarpus Donnell Smithii*). The best fiber pulping process was determined and the new paper was also analyzed, with emphasis on the percentage of the natural polymer; cellulose. Because it could be used for the restoration of old documentation.

Key words: *Majagua* (*Heliocarpus Donnell Smithii*), chemical characterization, morphology of fiber, cellulose pulp, paper

INTRODUCCIÓN

El hombre, desde siempre, ha tenido la intención de dejar plasmadas sus experiencias, sus conocimientos y los recuerdos de sus raíces, y lo ha hecho utilizando, los medios a su alcance. Un

ejemplo son, los dibujos en las cavernas de *Altamira* [1–3], y muchos más alrededor del mundo. Sin embargo, estos métodos no eran prácticos, por su difícil traslado, ni seguros. Posteriormente, también sirvieron para ese propósito el cuero, las hojas de palmera, tablillas de arcilla, telas, huesos y pieles, pero los verdaderos precursores del soporte escrito por excelencia (papel), fueron el papiro y el pergamino, realizados por los egipcios [4]. El papiro no puede llamarse propiamente papel sino protopapel, sin embargo, los chinos si lograron hacer un papel como el que ahora conocemos, con una estructura de fibras enlazadas formando una red que servía como un sustrato adecuado y práctico para la escritura. El papel es una estructura porosa que se obtiene de la filtración y entrelazado de fibras vegetales del polímero natural más importante, la celulosa. Con el agregado de sustancias inertes, como las cargas y rellenos, permite la conformación en finas láminas de un material de poco espesor, flexible, liviano y resistente.

Las plantas siempre han tenido una importancia relevante en la fabricación del papel, desde el papiro, hasta papeles más sofisticados como el papel chino la morera. Al principio, se elaboraba de trapos, era un papel cuyas fibras procedían del algodón o del lino, pero debido a la elevada cantidad consumida, se hizo necesaria la utilización de otras fuentes de materia prima, utilizándose distintos árboles, como el pino, cuyas fibras por sus características morfológicas y químicas, son adecuadas para la fabricación del papel. El inconveniente era su bajo contenido de celulosa (homopolímero lineal constituido por unidades de β -glucosa unidas entre sí por enlaces 1–4) y su alta concentración de lignina (elemento que acelera el proceso de oxidación de las fibras del papel). Se ha intentado disminuir su influencia mediante el desfibrado químico usando elementos clorados como aditivos para sus aprestos, lo cual modifica sus características originales [5].

Las causas de degradación del papel pueden ser *intrínsecas*, encontrándose en la materia prima del papel, o en los componentes que se agregan en su proceso de fabricación o *extrínsecas*, dadas por factores externos que alteran el medio, ocasionando reacciones inmediatas en el papel. Estas reacciones se dividen en cuatro grupos: i) *Físicas*, que están relacionadas con el microclima donde se conservan los documentos, con tres variables, la luz, temperatura ambiente y humedad relativa, ii) *Químicas*, son las que tienen que ver con elementos químicos (oxígeno, nitrógeno, ozono, carbono, etc.) que permiten la combustión, fermentación, hidrólisis y oxidación de los documentos. A esto se añade la polución y contaminación ambiental propios de zonas industriales, iii) *Biológicas*, referidas a la presencia de agentes que producen alteraciones en los documentos, comenzando por el hombre mismo, hasta los roedores, insectos, hongos y bacterias, y iv) *Mecánicas*, son las relacionadas con las condiciones de almacenamiento, protección y

manipulación de los documentos. Los desastres naturales como los incendios y las inundaciones, también aparecen enlistados entre los causantes principales de deterioro, en tanto que le producen cambios físicos y químicos [6–9].

En la conservación o restauración de documentos importantes, se utilizan papeles especiales que ayudan a incrementar su durabilidad. La mayoría de estos papeles provienen de Japón. Las fibras utilizadas más conocidas llevan los nombres de *Kozo*, *Gampi* y *Mitsumata*. Cada una de ellas confiere al papel características particulares. El papel japonés, para restauración, a pesar de su extrema ligereza, ofrece esa capacidad única de resistencia físico-química que no posee ningún otro tipo de papel. La fibra de *kozo* es fuerte y sólida y se obtiene del árbol del mismo nombre, que pertenece a la misma familia que la morera. Es el más utilizado, sus fibras son las más largas (una media de 100 mm). Estas fibras dan un papel de una gran resistencia, que es muy estable dimensionalmente. Pueden cultivarse y representan el 90% de las fibras utilizadas. Sin embargo, el *kozo* es un término bastante indefinido que se aplica, por lo menos, a tres plantas cuya corteza interior se emplea para la fabricación del papel. Están clasificadas según el color de la corteza: *aka-kozo* (rojo), *Kuro-Kozo* (negro) y *Shiro-Kozo* (blanco). Existe otra variedad que crece en las zonas montañosas del país, razón por la cual se denomina a ésta *yama-kozo*, debido a que *yama* significa montaña. Los tallos del *kozo* se cortan cuando se han caído las hojas del árbol. A la corteza del *kozo* talado en otoño se llama *akikawa*. Con la corteza otoñal se hace el mejor papel [10]. La *Gampi* se caracteriza por sus fibras sólidas, y brillantes (longitud de las fibras entre 3 y 5 mm). Produce un papel resistente, translúcido, con una superficie lustrosa. Debido a la dificultad e incluso a la imposibilidad de cultivarla, la *Gampi* es una fibra preciosa. Posee una particularidad: su savia es tóxica y se le atribuye la propiedad de ser sumamente resistente frente a los daños causados por los insectos. La *Mitsumata*, posee fibras finas, absorbentes, ligeramente brillantes (longitud entre 3 y 5 mm). Produce un papel muy liso, más lustroso que la *Kozo*, pero menos que la *Gampi*. Por lo general fino, los gramajes van de los 5 a los 80 g·m⁻²; las tonalidades diferentes se adaptan a la restauración de documentos antiguos [11].

En este trabajo se utilizarán las fibras de la *Majagua* (*Heliocarpus Donnell Smothii*), para elaborar un papel que sea útil en los procesos de restauración y conservación de documentos históricos y culturales, y contribuir con ello a la salvación del patrimonio cultural.

Aunque se han realizado muchos estudios sobre la obtención de fibras de otros tipos de plantas maderables así como no maderables, para su uso en la fabricación de papel [12–20], no está tan claro su uso para los procesos de restauración y conservación de material literario, antiguo.

Las fibras de la Majagua (*Heliocarpus Donnell Smithii*). La *Majagua* son árboles de 5 a 10 m de alto; tallos con lenticelas blancas; hojas ampliamente ovaladas de 9 a 22 cm de largo por 6,5 a 19 cm de ancho, de color verde, ápice acuminado, margen dentado–mucronado o finamente aserrado, base cordada; inflorescencias terminales de 8 a 20 cm de largo, pedúnculos de 3 a 7 cm de largo, densamente estrellado–pubescente; cáliz con 4 sépalos, lineares de 2,5 mm de largo por 1 mm de ancho, en flores pistiladas con un pequeño apéndice en el ápice; corola con cuatro pétalos de 1,5 mm de largo por 0,5 mm de ancho; fruto en cápsula ovoide, parda de 0,7 a 1,0 cm de largo por 0,6 a 1,0 cm de ancho, algunas veces con pequeñas espinas en el cuerpo del fruto; semillas piriformes de 2 mm de largo castaño–claras (Figuras 1 y 2) [21]. El área geográfica de mayor proliferación de este árbol, comprende los estados de *Chiapas*, *Tabasco*, *Yucatán* y *Jalisco*, en menor cantidad [22–26].

Su época de floración es noviembre y diciembre. Su corteza es correosa y se usa para amarrar diversos objetos. Se le considera una especie oportunista [27–30].

Uno de los principales usos de las fibras de este árbol es para hacer cuerdas y alfombras [31]. La variedad roja de este árbol (*Heliocarpus Donnell Smithii Rose*) se emplea en la construcción [32, 33]. La corteza se utiliza de manera común para la fabricación de alfajillas y mecate [34]. La cosecha de la corteza debe hacerse cada dos años, pues pasado ese tiempo la corteza se agrieta y la fibra resulta manchada.



Figura 1. Árbol de *Majagua* o *Heliocarpus Donnell Smithii*.



Figura 2. Hoja de la Majagua o *Heliocarpus Donnell Smithii*.

Esta investigación tuvo por objetivo evaluar el potencial de la fibra de *Majagua* (*Heliocarpus Donnell Smithii*) producida en *Jalisco* como materia prima en la fabricación de pulpa para papel, con la finalidad de ser utilizado en la restauración y conservación de documentos antiguos. Así mismo, se busca incentivar en un futuro este nuevo uso de la fibra en el país, y así contribuir a crear un nuevo mercado de venta que aumente su consumo, aprovechándose al máximo los recursos existentes para obtener polímeros naturales como la celulosa, de otros tipos de plantas. Se reducirían también, los problemas de deforestación existentes. Abarca un estudio de la composición química de la fibra, caracterización morfológica de ésta, determinación de las condiciones de pulpeo más apropiadas para esa materia prima, determinación de las propiedades físico-mecánicas de la pulpa, como índices de su calidad. Debido a que este trabajo se centra en estudiar las fibras liberianas de la corteza interna de la especie de *Heliocarpus Donnell*, y no del la madera de albura ni del duramen, se ha desarrollado la descripción de las plantas no maderables ya que la estructura anatómica de la especie en estudio se desarrolla con las características de éstas últimas: disposición de los paquetes fibrilares en capas de poco grosor, es decir, que el módulo de impregnación en el sentido transversal responde a la naturaleza de estas últimas. El resultado final indica, que es posible obtener un papel adecuado para la restauración de documentos antiguos, con las fibras obtenidas de la *Majagua*.

PARTE EXPERIMENTAL

Para la obtención del papel, se utilizó la corteza interna, la cual se separó manualmente del tronco o tallo de la planta, en forma longitudinal, para mantener la longitud de las fibras. Después la corteza se depositó en agua fría durante unos días para eliminar las gomas y otras impurezas solubles en agua. Las fibras, después se secan al sol durante tres días. Una vez secas se astillaron

manualmente para preparar la materia prima para la determinación de la humedad, y la realización los análisis: morfológico, químico y el posterior pulpeo, obteniendo fibras útiles para elaborar papel.

Caracterización morfológica. El estudio morfológico de una fibra es esencial, puesto que de ello depende no solo la respuesta de la fibra a su desarrollo durante el proceso de refinación, sino también las condiciones que deben de imperar durante este proceso mecánico. Las características morfológicas de la fibra involucran la longitud de la fibra, diámetro de la fibra, grosor de la pared y diámetro del lumen (cavidad interior de la fibra). Se partió de la aplicación del método de maceración *Franklin* [35,36] con la finalidad de obtener fibras aisladas. El material fibroso, se colocó en tubos de ensayo añadiéndoles partes iguales de ácido acético ($\text{CH}_3\text{-COOH}$) y peróxido de hidrógeno (H_2O_2). Se colocaron en un baño maría a 50°C , hasta obtener un color blanquecino (48 horas). El material tratado se lavó con agua destilada y después se agitó para lograr la disociación de los elementos. Las fibras se tiñeron ligeramente con safranina acuosa (solución acuosa colorante), lavándose e introduciéndose después en fenol glicerina (20 mL de fenol derretido, 40 mL de glicerina y 40 mL de agua). Posteriormente se colocó el material sobre láminas, se dispersó con agua, y se colocó sobre una placa de calentamiento a 60°C para evaporar el agua. Se tapó con un cubreobjetos, y se montaron las láminas en un microscopio de proyección marca *Leitz* tipo 31.047.500. Se realizaron 30 determinaciones de la longitud (mm) y diámetro (μm) de las fibras y diámetro de lumen (μm). Cada fibra se midió en tres segmentos, y al final, se sumaron y se multiplicaron, para normalizar resultados, por un factor de 0,01014 para longitud, y 0,00106 para el ancho y el lumen de la fibra, [37]. Con los datos obtenidos se calculó, el espesor de pared y los índices de calidad; coeficiente de flexibilidad, coeficiente de rigidez, la relación *Runkel* y el coeficiente de *Peteri* o índice de *Esbeltez* (IE) [38,39,15]. El índice de flexibilidad, y la relación *Runkel*, se calcularon con los valores promedio medidos en el corte transversal. Las formulas aplicadas fueron las siguientes:

$$\text{Relación Runkel (RR)} = \frac{2w}{l}$$

$$\text{Rigidez (CR)} = \frac{2w}{D}$$

$$\text{Flexibilidad (CF)} = \frac{l}{D}$$

$$\text{Coeficiente de Peteri o índice de Esbeltez (IE)} = \frac{l}{D}$$

donde D es el diámetro de la fibra; L la longitud de fibra, l el diámetro de lumen, y w el espesor de las paredes de la fibra.

Determinación de los componentes químicos. El análisis químico de la especie *Heliocarpus donnel* (Majagua) se realizó en tres momentos distintos del desarrollo de la fibra: antes de ser cocidas (a las astillas), cuando el porcentaje del polímero natural de la celulosa es mayor, después de ser cocidas y después de ser blanqueadas. Se determinó la holocelulosa (método *Jayme– Wise*) [40], la α -celulosa (siguiendo la norma T 203 cm–99, procedimiento que se deriva del análisis de holocelulosa), la lignina (norma T 222 om–98), las cenizas (norma T 211 om–93), los pentosanos (norma T 223 cm 84), el alcohol (norma T 204 om 88) y el agua caliente (norma T 207 om 93) [41]. Los procedimientos de trabajo seguidos, fueron los descritos por *Prado* [37].

2.3. Procedimiento del pulpeo. La obtención de las fibras para papel, procedentes de la corteza de Majagua, se llevo a cabo mediante un proceso a la sosa y cal. El pulpeo que se seleccionó con las fibras de Majagua, fue de carácter alcalino (una carga suave; la cal y otra más fuerte; la sosa) individualizando las fibras y obteniendo un pH básico en la pulpa final. Se pesaron 5 g (pbs) de corteza desmenuada y se mezclaron con el correspondiente licor de pulpeo. Esta mezcla se colocó en un minidigestor el cual se sumergió en un baño de aceite calentado a 160 °C (temperatura de trabajo). Transcurrido el tiempo de reacción, se recogió la pulpa en un embudo separando el filtrado, el cual se reserva para su análisis, y la pulpa, que se lava hasta remover todo el licor no deseado [42]. Las condiciones que se consideraron en este proceso fueron las que se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Condiciones del pulpeo.

Pulpeo	Carga reactivo Porcentaje PBS	t_{cocción} horas	Temperatura °C
Sosa Hidromódulo: 1:5	10 – 15 – 20	1–1,5–3	160
Cal Hidromódulo: 1:5	15 – 20 – 25	1–1,5–3	160

Clasificación de las fibras. Una porción de pasta previa se sometió a un proceso mecánico de refinación, que modifica la estructura morfológica de la fibra y, en consecuencia, las propiedades físico mecánicas del papel. La pulpa se caracterizó de acuerdo a su distribución de tamaño y

drenaje. Para la distribución de tamaño se utilizó un clasificador *Bauer–McNett* que fracciona la pulpa por longitud, haciendola pasar por tamices de número creciente de mallas (*Mesh*) (30, 50,100, 200 y finos), colocados de manera vertical, tal y como se describe en la norma UNE 57–118–86 [43]. Se determinó el peso de las fibras retenidas en cada tamiz, a tres tiempos diferentes: 17, 25 y 30 minutos, expresando el resultado como porcentaje del peso de la muestra original, frente a la muestra seca. Para la medición de drenaje se utilizó el sistema de *Grados Schopper Riegler* (°SR), basado en la capacidad de retener agua de la suspensión fibrosa [44].

Procedimiento de blanqueo y formación de hojas. El proceso de blanqueo significa, necesariamente, una reducción de rendimiento de la fibra, por cuanto se elimina una parte importante de la lignina que aún permanece en la pasta café y además, una parte de las fibras de celulosa se degradan debido a los agentes químicos que intervienen en el proceso. La lignina actúa como cementante natural que une las fibras de celulosa de la madera y le da rigidez y consistencia al tallo de las plantas. Para obtener pastas más puras y libres de lignina se utilizan procesos químicos para separarla de la celulosa. La blancura de este polímero natural, depende de la cantidad residual de lignina en la pasta.

Parte de la pulpa química fue sometida a un proceso de blanqueo por el método *Yorston* [45]. Se tomó una muestra de 1,5 g (pbs) y durante 48 horas y a temperatura ambiente, se le realizaron secuencias de blanqueo con mezclas de clorito de sodio al 10%, y una solución tampón de acetato de sodio y ácido acético.

Tabla 2. Normas utilizadas en la medición de propiedades mecánicas de hojas de papel.

<i>Propiedad</i>	<i>Norma Tappi</i>
Tensión	T 403 om 91 T 404 cm 92 T 414 om 88
Doblez	T 511 om–88
Blancura	T 525 su 72
Formación de hojas	T 205 om 88
Opacidad	T 425 om 91

Se fabricaron hojas de la pulpa blanqueada y sin blanquear, con tres gramajes distintos 6,11 y 36 g·m⁻², los más comunes en el papel japonés, *kozo*, de mayor uso en restauración. Se midieron las propiedades físico mecánicas y ópticas de las hojas, de acuerdo a las normas presentadas en la tabla

2. Tanto las pruebas de resistencia a la tensión (tiras de 1,5 cm·16 cm) como las de doblez (tiras de 1,5 cm·10 cm) se hicieron por cuadruplicado y promediados los resultados. Las pruebas de resistencia a la tensión y al doblez, son las más importantes considerando que el papel creado, va a ser destinado a la restauración y conservación de documentos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización morfológica de las fibras. Propiedades biométricas de las fibras. En las Tablas 3 y 4, se muestran los resultados de las mediciones biométricas de las fibras de *Majagua*, comparándolas, con valores de las mismas propiedades, obtenidos para el papel *Kozo*, utilizado habitualmente en la restauración de documentos antiguos [46, 47].

Tabla 3. Caracterización morfológica de las fibras *kozo* y *Majagua*.

Fibra	<i>Kozo</i>	<i>Majagua</i>
Longitud de la fibra (mm)	3,600	1,890
Diámetro de la fibra (μm)	19,60	16,30
Espesor de pared (μm)	15,00	32,60
Lumen (μm)	7,500	3,400

Tabla 4. Indices de calidad de las fibras *kozo* y *Majagua*.

Fibra	<i>Kozo</i>	<i>Majagua</i>
Factor <i>Runkel</i>	4,000	19,00
Coefficiente de rigidez	1,530	4,000
Coefficiente de flexibilidad	0,382	0,210
Índice de <i>Peteri</i> o esbeltez	183,8	115,8

Las fibras de madera se suelen dividir en: fibras largas, normalmente de coníferas, y su longitud oscila entre 2,5 y 4,0 mm con diámetros aproximados de 30 a 40 μm . Le otorgan al papel características de resistencia. Las fibras cortas, de abedules, salicáceas y, la más usada, eucalipto, tienen longitudes entre 0,5 y 1,5 mm y diámetros de 10 μm , se caracterizan por darle al papel ciertas

características superficiales. La longitud de las fibras de *Kozo*, es muy elevada, y es por ello, a estas fibras se las sitúa dentro del intervalo de las fibras largas [20,48,49]. En cambio, las fibras de *Majagua*, son moderadamente largas, y el valor obtenido se parece al observado en fibras de maíz. Esa longitud es incluso similar a la que presentan algunas maderas coníferas como la *Jacaranda acutifolia*, la *Tilia mexicana*, la *Bellotia mexicana* o *Clethra mexicana*, entre otras, y que puede alcanzar los 3 mm [37]. La longitud de las fibras juega un papel importante, en las propiedades de resistencia del papel, tales como la resistencia al rasgado, la cual, se determina casi totalmente, por el largo de sus fibras [50]. La resistencia al doblar, también se incrementa al aumentar la longitud de las fibras [51]. El ancho o diámetro de la fibra del *Kozo*, 19,6 μm , es similar al que presentan fibras no maderables como el bagazo de caña [37]. Este valor, representa una desventaja en el proceso de formación del papel, porque origina una rigidez menor, y disminuye considerablemente la resistencia al rasgado [15,52,53].

El *Factor Runkel*, nos indica el colapsamiento que se produce en la fibra y se relaciona con las buenas propiedades que presenta dicha fibra, para la formación de papel [54]. En ambos casos, tanto para la *Majagua* como el *kozo*, se obtiene valores por encima de 2 unidades, lo que indica que ambas fibras no serían las más adecuadas para formar hojas. Cuanto menor sea este factor de *Runkel*, mayor flexibilidad de las fibras y mayor posibilidad de producir papel de buena calidad [13, 37]. Cuando este índice es menor que 0,25, se considera que la calidad de la pulpa es excelente para la fabricación de papel. Si el valor se sitúa entre 0,25 y 0,50, la calidad de la pulpa será muy buena. Entre 0,50 y 1,00 tendremos una calidad buena. Valores entre 1,00 y 2,00 indican una calidad de pulpa regular y cuando el índice es mayor de 2,00, la calidad de la pulpa es mala [14].

El coeficiente de rigidez para ambas fibras, se sitúa por encima de la unidad, lo que indica una pared celular muy gruesa y con alta rigidez, más si cabe, en el caso de las fibras de *Majagua*. La porosidad de la hoja obtenida con estas fibras, se ve afectada de manera negativa [55, 56]. Para fabricar papel de calidad, este coeficiente no debe ser mayor a 0,7, ni inferior a 0,20, que se considera pared celular muy delgada y de rigidez muy baja. Cuando los valores se sitúan entre 0,7 y 0,5, se presenta una pared celular gruesa y una rigidez alta. En el intervalo de 0,50 a 0,35 se tiene una rigidez media y la pared celular de la fibra, también se considera media. Y cuando los valores están entre 0,35 y 0,20, existe una pared delgada que origina baja rigidez [57].

El coeficiente de flexibilidad, hace referencia a la obtención de un mayor largo de ruptura y mayor índice de explosión de las fibras [58]. A mayor coeficiente de flexibilidad aumenta la facilidad de colapso entre las fibras, obteniéndose mayor área de enlaces entre ellas. Esto afecta

positivamente a la densidad, al índice de tensión y explosión de las hojas que se fabriquen con esas fibras. El valor obtenido para las fibras de *Majagua* (0,208 unidades), se encuentra en el límite inferior de la clasificación e indica que la pared de éstas es muy gruesa. Es decir, las fibras no se colapsan, hay muy poca superficie de contacto entre ellas y es muy pobre la unión fibra-fibra. Para el *kozo*, el valor obtenido (0,383 unidades), muestra una fibra de pared gruesa. El colapso entre las fibras será mayor que en caso anterior, se incrementa un poco la superficie de contacto entre las fibras, así como la unión entre las mismas.

El coeficiente de *Peteri* representa la posibilidad de aumentar el contacto fibra a fibra lo que favorece la correlación entre las propiedades de las pulpas obtenidas a partir de mediciones de elementos fibrosos [59].

La fibra de *Majagua* muestra un espesor de pared más elevado que la fibra de *Kozo*, es decir, que podemos esperar que la fibra de *Majagua* por tener un mayor espesor de pared pueda desarrollar mayores resistencias mecánicas al ser sometidas al proceso de refinación pues podrá fibrilarse interna y externamente sin llegar a la ruptura. Sin embargo, la fibra de *Kozo* al ser demasiado delgada posiblemente un proceso mecánico llegaría a destruirla antes que a fibrilarla.

En el proceso de preparación de las fibras de *Majagua*, para su estudio, se observó que éstas, estaban envueltas en gran cantidad de goma o mucílago, de características desconocidas, con capacidad de disolverse en agua generando una solución densa, que se oscurece según se incrementa su exposición al aire. De acuerdo con *Kirk*, 1961, las verdaderas gomas son de origen vegetal, y son solubles en agua o se hinchan en contacto con el agua, para formar soluciones coloidales viscosas; son insolubles en aceites, alcohol, benceno y otros disolventes orgánicos. Por su parte, los mucílagos son ciertas sustancias gelatinosas que se encuentran en algunas plantas. Pueden presentarse casi en cualquier parte de la planta, como la corteza, los tegumentos de las semillas o los tejidos interiores de la semilla, y son sustancias producidas por la planta en el curso normal del crecimiento. La especie *Heliocarpus donnel* (*Majagua*) de acuerdo con la solubilidad del material y su comportamiento frente al agua, y la ubicación de las concentraciones del material en los espacios interfibrilares de la corteza interna, orienta a la definición de este material a ser un mucílago [60]. En la Figura 3, se pueden ver las imágenes de microscopía de las fibras de *Majagua* y la goma que existe entre ellas.

Pulpeo y clasificación de las fibras. La pulpa de fibras de *Helicarpus donnel* se procesó, con una carga de sosa del 15%, 2 horas de cocción y 25 minutos de refinación. La clasificación de las fibras (véase la Tabla 5) se determinó en función del peso de las fibras retenidas en cada tamiz

utilizado, expresando el resultado como porcentaje del peso de la muestra original, frente a la muestra seca. Se aprecia un alto porcentaje de fibra larga, 62,9%, lo que indica que el papel tendrá alta resistencia, física y mecánica debido a que estos paquetes de fibras largas logran entrelazarse y tener más puntos de contacto entre sí [61].

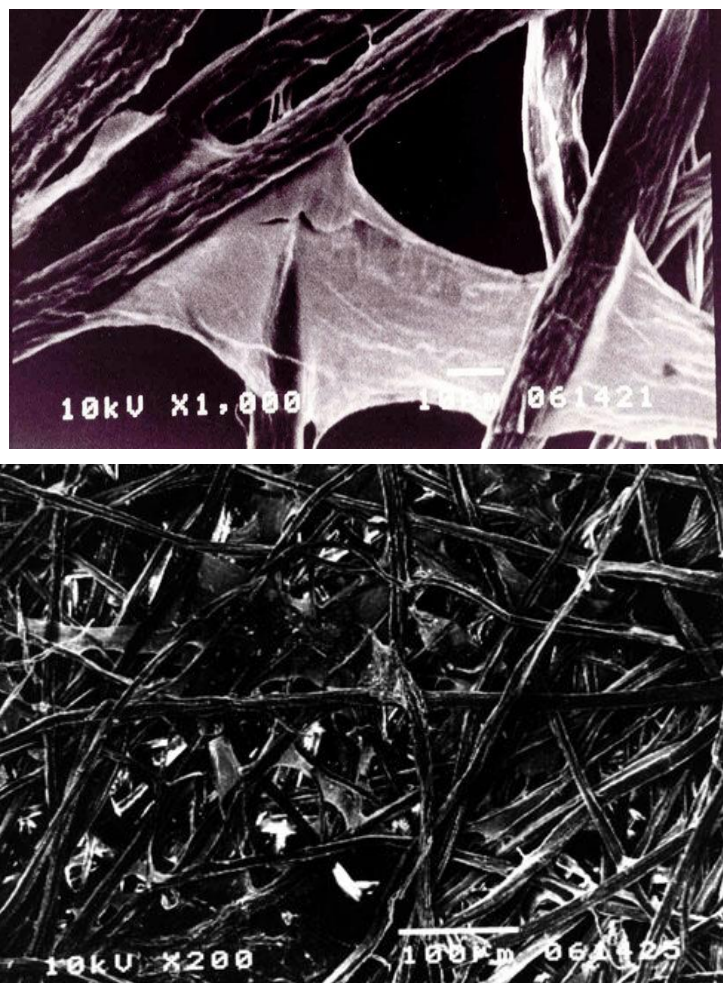


Figura 3. Fibras de *Majagua (Heliocarpus Donnell Smithii)* unidas por mucílago.

Tabla 5. Clasificación de las fibras.

Malla <i>Mesh</i>	Porcentaje de pulpa	Porcentaje de papel
30	62,9	22,2
50	6,70	7,80
100	3,90	23,7
200	2,80	9,50
Finos	23,7	36,8

La Figura 4 muestra la curva de refinación de la fibra en diferentes tiempos, siendo los más importantes: 17, 25 y 30 minutos. Se puede constatar, que la secuencia óptima del proceso de la fibra, se sitúan en 25 minutos de refinación. Durante estos tiempos del desarrollo se tomaron muestras para elaborar hojas con un gramaje de $6 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$, y determinar sus resistencias (véase la Figura 5).

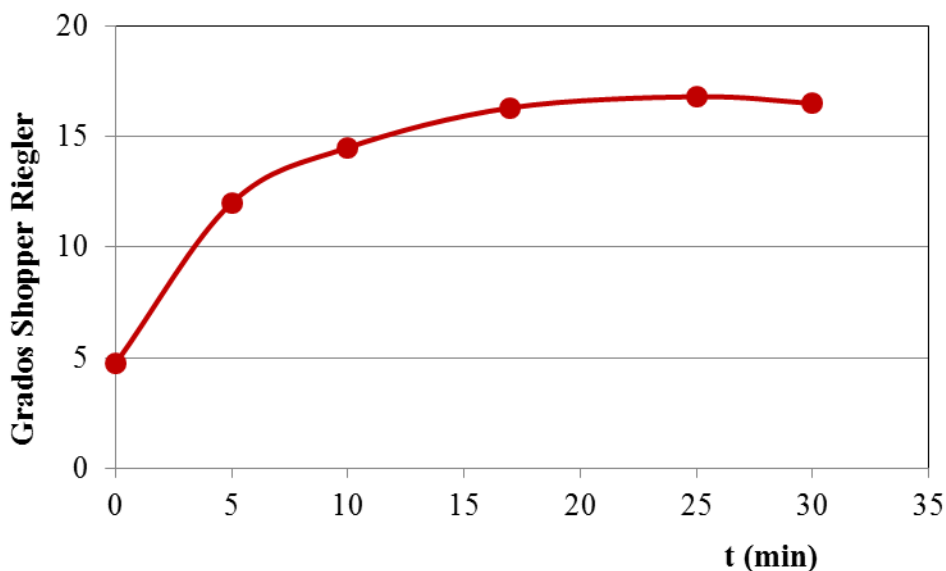


Figura 4. Curva de refinación de la fibra de *Majagua* o *Heliocarpus Donnell Smithii* en el proceso a la sosa.

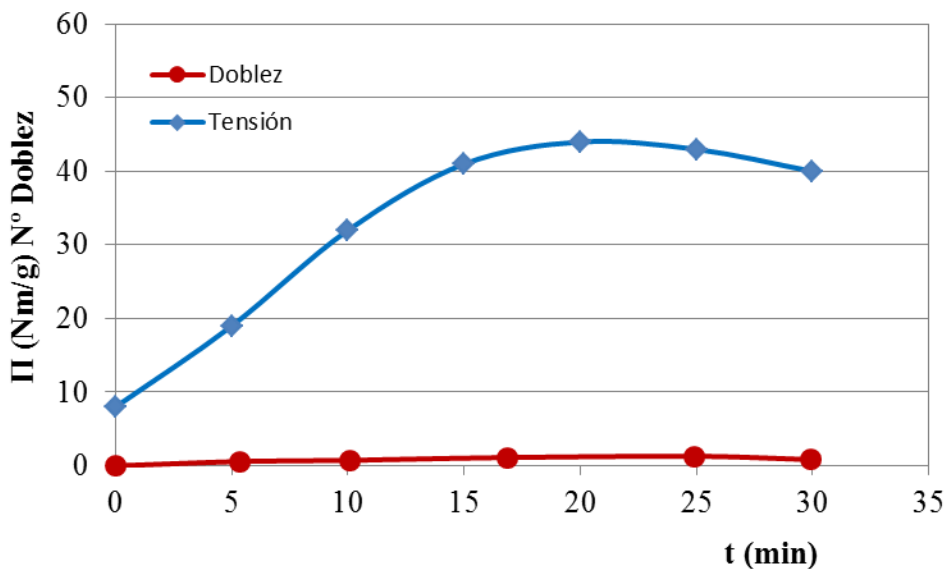


Figura 5. Desarrollo de la tensión y la doblez en la refinación de las fibras de *Heliocarpus Donnell Smithii* en el proceso a la sosa.

Se aprecia que las fibras de *Majagua* tienen un buen desarrollo hasta un tiempo de refinación de 20 minutos después de los cuales, comienzan a deteriorarse.

Blanqueo y formación de hojas. Las fibras obtenidas del cocimiento de la *Majagua* se sometieron a un proceso de blanqueo con clorito de sodio, resultando en una blancura de 70,4% ISO. Es un valor alto, comparándolo con el porcentaje requerido para la producción de papel periódico, que es aproximadamente, del 60% ISO, y próximo a los valores que se obtienen con el papel de *Kozo*, el más utilizado para la restauración de documentos antiguos [62, 63]. Cuanto mayor sea el nivel de blancura de un papel, más limpia será la impresión. En la tabla 6, se muestran los resultados de las distintas propiedades físico mecánicas y ópticas, analizadas en las hojas de papel fabricadas con fibras de *Majagua* y de *Kozo*, con tres gramajes diferentes; 6,0, 11 y 36 g·m⁻². Se observa que el mejor resultado aparece para el papel fabricado con fibras de *Majagua*, con un gramaje de 36 g·m⁻². Todas las propiedades analizadas, blancura, opacidad, índice de tensión y número de dobleces, presentan máximos con esta composición, y ocurre lo mismo para el papel obtenido con las fibras de *Kozo*. Además, los valores en ambos casos, son muy cercanos.

Tabla 6. Propiedades físico-mecánicas papel de fibras de *Kozo* y papel de fibras de *Majagua*.

Fibra Especie	Gramaje g·m ⁻²	Blancura Porcentaje ISO	Porcentaje opacidad	Índice tensión Nm·g ⁻¹	Dobleces No.
	36	83,4	68,4	120,5	16
<i>Kozo</i>	11	71,7	37,0	29,20	3,0
	6,0	60,2	25,6	0	0
	36	70,4	53,3	121,0	24
<i>Majagua</i>	11	70,4	26,9	30,00	11
	6,0	70,4	22,0	0	1,0

Determinación de los componentes químicos. En la Tabla 7 se pueden observar los componentes químicos obtenidos, de las astillas obtenidas de la corteza de *Majagua*. El contenido de lignina, es elevado, debido a la propia naturaleza de las fibras, y a que aún no han sido sometidas a proceso químico alguno. En un material destinado a la elaboración de pulpa de celulosa, es preferible contar con un menor contenido de lignina, ya que ésta, se considera el principal componente a eliminar [64]. El alto contenido de lignina en la pasta va en detrimento de la calidad del papel ya que las fibras son poco flexibles, no están bien unidas entre sí y el papel es poco resistente y tiende a amarillear con el sol (por oxidación de la lignina residual y otros componentes

de la pasta). Además, un menor porcentaje de lignina, implica condiciones menos severas de digestión, lo que se traduce en menos costos operativos. Los porcentajes de β -celulosa y γ -celulosa, son elevados pero disminuyen, a lo largo de los procesos de obtención de la pulpa y blanqueo de la misma, mientras que aumenta, el porcentaje de α -celulosa (véase la Tabla 8). En cuanto a los extraíbles, se observa que, por tratarse de una corteza, el análisis reporta bajos contenidos de estos componentes. El análisis presenta alto porcentaje de cenizas, lo que indica que existe una gran cantidad de impurezas, como iones metálicos, sílice y sales, algunos cuales pueden tener mucha influencia en el proceso de blanqueo, haciendo que éste sea más prolongado [65].

Tabla 7. Componentes químicos en las astillas.

Componente	Porcentaje PBS*
α -celulosa	67,26
β -celulosa	13,27
γ -celulosa	12,76
<i>Extraíbles</i>	
Lignina	19,63
Etanol	2,920
Etanol-agua	2,350
Agua caliente	3,400
Pentosanos	8,570
Cenizas	10,40

* Porcentaje (%) base seca

Tras el proceso de pulpeo, se eliminó un alto porcentaje de lignina, pasando del 19,63% al 5,0% en el análisis de la pulpa no blanqueada y llegando al 0,13% en la pulpa blanqueada. Los porcentajes de los extraíbles, también se redujeron. Después de un tratamiento de fraccionamiento, la celulosa queda como residuo sólido con contenidos de lignina muy bajos. El rendimiento de la celulosa recuperada como sólido es similar al 100%. Las características de la celulosa producida (grado de polimerización, índice de cristalinidad, etc.) están íntimamente relacionadas con la severidad del tratamiento empleado. Las hemicelulosas se despolimerizan y se separan en forma de monosacáridos y oligosacáridos solubles en fase acuosa. Los rendimientos de hemicelulosas solubilizadas varían entre 60 y 80%, conjuntamente con las hemicelulosas se recupera entre un 10 y

un 15% de la lignina, por lo que los porcentajes de estas fracciones son muy bajo en la celulosa resultante. Esa reducción, es óptima no sólo en términos de eficiencia sino también en calidad del producto final.

Tabla 8. Análisis químico de la pulpa química a la sosa de fibras de majagua antes y después del proceso de blanqueo.

	Pulpa de Majagua no blanqueada	Pulpa de Majagua blanqueada (Yorston)
Componente	Porcentaje PBS*	
α -celulosa	87,7	90,8
β -celulosa	1,72	4,63
γ -celulosa	4,54	4,54
<i>Extraíbles</i>		
Agua caliente	1,20	0,34
Etanol	3,40	0,98
Etanol-benzeno	5,30	1,20
Pentosanos	8,45	7,24
Lignina	5,03	0,13

* Porcentaje (%) base seca

CONCLUSIONES

El árbol de *Majagua* es una fuente de fibras adecuada para la obtención de un papel de calidad y apropiado para la restauración y conservación de documentos antiguos. Al comparar una de las características morfológicas más importantes de las fibras, la longitud, responsable de la resistencia del papel, podemos decir que las fibras de *Kozo*, con 3,6 mm de longitud, frente a 1,88 mm de las fibras de *Majagua*, tendrán un mejor desarrollo en el proceso de refinación, y por lo tanto, esto se reflejará en las propiedades físicas del papel. Sin embargo, se observa que esto no es así, y tenemos un papel fabricado con fibras de *Majagua*, con resistencias y propiedades similares. El mucílago que se encuentra entre las fibras, provoca un incremento de las propiedades físico mecánicas del papel obtenido con ellas, y tanto la tensión como el número de dobleces que estas hojas pueden soportan, es comparable al que se produce, en las hojas fabricadas con fibras de *Kozo*, las más utilizadas desde hace siglos. Cuando se elabora el papel, aún después de someter a la celulosa a una cocción con aditivos químicos y tras sufrir un proceso de blanqueo, el mucílago se manifiesta en la

red fibrosa uniendo las fibras y, generando un papel con resistencias físicas adecuadas. De este modo se equilibra la falta de desarrollo mecánico que sufre la fibra de *Majagua*, al tratarse de una moderadamente larga.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Arienza J, Fernández RC, Andrade BJA “Cuaderno de actividades de historia y geografía IV secciones bilingües con lengua española en la República Checa”, Praga, Editorial Ana Press Bratislava, 2011, 142 p.
- [2] Rozas C “Métodos de conservación de libros en la biblioteca nacional de Venezuela. Cronología de la fabricación del papel”, *INTI–Cel. y Papel Bol. Conserv. Pref.1 y Restaur.*, **III(XI)**, 2 (2010)
- [3] Pike AWG, Hoffmann DL, García DM, Pettit PB, Alcolea J, Balbín R, González SC, De las Heras C, Lasheras JA, Montes R, Zilhão J, *U–series dating of Palaeolithic Art in Caves in Spain, Sci.* 9 p. (2012)
- [4] Carozzi AR “Conservación y restauración de libros representativos de la colección Neruda, perteneciente al Archivo Central Andrés Bello de la Universidad de Chile”, Tesis de posgrado, Santiago de Chile, Universidad de Chile, Facultad de Artes, 2010.
- [5] Heredia T “Conservación y Restauración del Patrimonio Cultural en soporte Papel”, España, Museo Jesuítico Nacional de Jesús María, 2007
- [6] Zepeda MMG “Fibras para la restauración de papeles antiguos”, México, INAH, 2010, 102 p.
- [7] Araujo F “Factores internos responsables de la degradación del papel”, *INTI–Cel. y Papel. Bol. Conserv. Pref.1 y Restaur.*, **III(XI)**, 7 (2010)
- [8] Frost G, Briceño A “Métodos de conservación de libros en la biblioteca nacional de Venezuela”, Venezuela, Biblioteca nacional de Venezuela, Centro nacional de conservación de papel, Centro Regional IFLA–PAC para América Latina y El Caribe, 2001
- [9] Crespo C, Viñas V “La preservación y restauración de documentos y libros en papel: un estudio del RAMP con directrices”, París, Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, 1984
- [10] Araujo F “Fabricación manual del papel en Japón a partir de *Kozo*”, *INTI– Cel. y Papel. Bol. Conserv. Pref.1 y Restaur.*, **I(I)**, 2 (2008)
- [11] Araujo F “Evolución del papel: ¿evolución de la literatura?”, *INTI– Cel. y Papel. Bol. Conserv. Pref.1 y Restaur.*, **II(IV)**, 2 (2009)
- [12] Akbari M, Resalati H “Use of agricultural waste in the pulp and paper industry”, *1th International and 4th National Congress on Recycling of Organic Waste in Agriculture*, Iran, 2012, 4 p.
- [13] Cea PCE, *Evaluación de fibras celulósicas producidas en planta de celulosa Nueva Aldea*, Tesis de Maestría, Brasil, Universidad Federal de Vicosa, 2011.
- [14] Larios SP “Índice de calidad de las pulpas de dos coníferas”. Tesis Profesional, Texcoco, México, Departamento de Bosques, Escuela Nacional de Agricultura, 1979.
- [15] Monteoliva S, *Propiedades de la madera de seis clones de salix y su relación con el pulpado quimimecánico*, Tesis Doctoral, Argentina, Universidad Nacional de La Plata, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, 2005.
- [16] Rutiaga QJG, Anzaldo HJ, Vargas VJJ, Sanjuan D R “Propiedades de resistencia de una pulpa kraft de pino mezclada con médula del bagazo de caña de azúcar”, *Mad. y Bosq.* **8(2)**, 17 (2002)
- [17] Sanjuán DR “Obtención de pulpas y propiedades de las fibras para papel”, Guadalajara, Editorial Universidad de Guadalajara, Guadalajara, 1997
- [18] Santiago ADI, Rodríguez de GN, Mogollon G, Potencial papelero de la fibra de sisal (Agave sisalana), *Rev. For. Ven.* **46(2)**, 19 (2002)
- [19] Sidney GE “Mexican mills utilizing bagasse to produce pulp and fiberboard mill”, *Non–wood P. Fiber Pulp.* **19**, 45 (1991)
- [20] Tamarit UJC “Determinación de los índices de calidad de pulpa para papel de 132 maderas latifoliadas”, *Mad.y Bosq.*, **2(2)**, 29 (1996)
- [21] Rodríguez V, Sinaca CP, Jamangapé GG “Frutos y semillas de árboles tropicales de México”, México, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat), 2009
- [22] *Programa de manejo De la Reserva de la biosfera Selva El Ocote Ocozocoautla de Espinosa, Chiapas*, Mexico, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Comisión nacional de áreas naturales protegidas, 2001

- [23] Maldonado MML, Rodríguez TDA, Velázquez MJ, Nández JS “Reducción en riqueza de especies arbóreas por incendios en la reserva selva el ocote”, Chiapas, *Rev. Cien. For. en Méx.*, **34**(106), 22 (2009)
- [24] INEGI “*Diccionario de datos de uso del suelo y vegetación*”, México D.F. 2009
- [25] Sánchez GF “*Recursos maderables en el sistema agroforestal cacao en Cárdenas, Tabasco*”. Tesis de Maestría, Tabasco, México, Colegio de postgraduados. Institución de enseñanza e investigación en ciencias agrícolas H. Cárdenas, 2012.
- [26] Román AJA, *Plan Rector de Conservación y Producción de la Microcuenca Cuyutlá, San Cristóbal de la Barranca*, México, SAGARPA, 2004
- [27] Asbjornsen H, Gallardo HC “*Impacto de los incendios de 1998 en el bosque mesófilo de montaña de los Chimalapas, Oaxaca*”, en Villers LYJ, López B (editores) “*Incendios forestales en México: Métodos de evaluación*”, México, D. F. UNAM, 2004
- [28] Pennington TD, Sarukham J “*Árboles tropicales de México: Manual para la identificación de campo*”, México, FAO, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, 1968
- [29] Escárraga P “*Estructura y composición de la selva baja caducifolia en la reserva estatal El Palmar y la reserva estatal Bocas de Dzilam*”, México, Tesis de licenciatura, UADY-FMVZ, 2009
- [30] Peraza AMI “*Estructura y composición de la selva baja caducifolia en dos áreas naturales protegidas, en Yucatán, México*”, México, Tesis de licenciatura, UADY-FMVZ, 2008
- [31] Hernández SJ “*Estudio Integral de la Selva Lacandona, Chiapas*”, Chapingo, Texcoco, Edo. de México, Tesis profesional, Universidad Autónoma Chapingo. División de Ciencias Forestales, 1999
- [32] Contreras CLE “*Percepción y manejo de los recursos naturales en la comunidad Lacandona de Nahá, Chiapas*”, Tesis de Doctoral. Puebla. México. Colegio de postgraduados. Institución de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas, 2011
- [33] Cuza PA, Carreras RR, Saralegui BH “*Maderas que fueron usadas en la construcción de edificaciones coloniales del centro histórico de la Habana Vieja, Cuba*”, *Anal. Mus. A.*, **13**, 359 (2005)
- [34] Altamirano JG, García BKL “*Estudio Etnobotánico en dos Áreas Protegidas de la Región Norcentral de Nicaragua: Paisaje Terrestre Protegido, Mirafior – Moropotente y Parque Ecológico Municipal, Canta Gallo, Estelí*”, Tesis para Optar al Título de Ingeniero Forestal, Nicaragua, Universidad Nacional Agraria, Facultad de recursos naturales y del ambiente, 2009
- [35] Franklin GL “*Preparation of thin sections of synthetic resins and wood-resin composites, and a new macerating method for wood*”, *Nat.*, **155**(3924), 51 (1945)
- [36] Nahuelpán LCE “*Determinación del límite entre la madera juvenil y madura en Pinus taeda L*” Valdivia, Universidad Austral de Chile, 2007, 42p.
- [37] Prado MM “*Caracterización de hojas de mazorca de maíz y de bagazo de caña para la elaboración de una pulpa celulósica mixta*”, *Mad. y Bosq.*, **18**(3), 37 (2012)
- [38] Palacios J H, *Monografía de apoyo didáctico para el curso de estructuras anatómicas de materiales fibrosos para la maestría de productos forestales*, Tesis de Licenciatura. Guadalajara, Universidad de Guadalajara, 2003.
- [39] Juárez MMA “*Estudio anatómico de la madera de tres especies del estado de Jalisco*”, Tesis de licenciatura, Guadalajara, Universidad de Guadalajara, 1993.
- [40] Wise LE, Marphy M, d’Adieco A., *Pap. T. J.*, **122** (2), 35 (1946)
- [41] *Tappi Standards (Technical Association of the Pulp and Paper Industry)*, Asociación Técnica de la Industria de Pulpa y Papel de los Estados Unidos. Atlanta (1997)
- [42] Casey James, *Pulpa y papel química y Tecnología Química*. México, Editorial Limusa, Vol.2 pp. 151–189.
- [43] UNE 57–118–86 *Pasta mecánica, Clasificación de fibras*, (Método MCNETT), Boletín Oficial del Estado, núm. 32, España, Ministerio de Industria y Energía, 3742 1987
- [44] <http://www.techlabsystems.com/en/datasheets/pulp/freeness.manual-schopper-web.pdf>
- [45] Casey James, *Pulpa y papel química y Tecnología Química*. México, Editorial Limusa, Vol. 3, 1991
- [46] Carozzi AR “*Conservación y restauración de libros representativos de la colección Neruda, perteneciente al Archivo Central Andrés Bello de la Universidad de Chile*”, Santiago de Chile, Universidad de Chile, Facultad de artes, Escuela de Posgrado, 2010
- [47] Frost G, Briceño A “*Métodos de conservación de libros en la biblioteca nacional de Venezuela*”, Venezuela, Biblioteca nacional de Venezuela, Centro nacional de conservación de papel Centro regional IFLA-PAC para América Latina y El Caribe, 2001
- [48] http://www.stouls.com/pages/conservation_es/produits_conservation.php?gamme=6

- [49] Moglia JG, Giménez AM, Bravo S, *Serie didáctica de Dendrología, Tomo II*: “Macroscopia de madera”, Argentina, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero, 2008, 57 p.
- [50] Young HG, “Preparación de la fibra y flujo de alimentación de pasta”, en James P Casey, *Pulpa y Papel, Química y tecnología química*, México, LIMUSA, 1991, **Vol. II**, Cap. 6.
- [51] Robinson JV “Unión de las fibras”, en Casey JP “*Pulpa y Papel, Química y tecnología química*”, México, LIMUSA, 1991, **II**, Cap. 7.
- [52] Núñez CE “*Microestructura de la madera*”, Argentina, PROCYP, Universidad Nacional de Misiones, 2004
- [53] Aguilar R N, Efecto del almacenamiento de bagazo de caña en las propiedades físicas de celulosa grado papel, *Ing. Inv. y Tec.*, **XII**(1), 189 (2011)
- [54] Bamber R K, The wood anatomy of eucalyptus and paper making, *Appita* **38** (8), 210 (1985)
- [55] Dinwoodie JM “The relationships between fiber morphology and paper properties: A review of Literatura”, *TAPPI J.*, **48**(8) 444 (1965)
- [56] Petroff G, Normand D, *The correlation between the physical and mechanical properties of paper, and dimensional characteristics of papers, from tropical hardwoods, Pulp and paper development in Africa and the ear East*, Paris, FAO, 1968, 269
- [57] Villaseñor AJC, Rutiaga QJG “La madera de Casuarina Equisetifolia L, química e índices de calidad de pulpa”, *Mad. y bosq.*, **6**(1), 29 (2000)
- [58] Wangaard FF “Contributions of hardwood fibers of the properties of kraft pulps”, *TAPPI J.*, **45**(7), 548 (1962)
- [59] Fernandez LE “*Investigaciones en pulpas kraft de Eucalyptus globulus labillardiere ssp. Globulus y Eucalyptus dunnii Marden de bosques técnicos tendientes a mejorar sus propiedades ópticas y mecánicas*”, Tesis para obtener el Grado de maestro en Ciencias de productos Forestales, Guadalajara, Universidad de Guadalajara, 1998.
- [60] Kirk RE, Othmer D “*Enciclopedia de Tecnología Química*”. Primera Edición en español, México, Unión Tipográfica Editorial Hispano–Americana, **8**, 11 (1961)
- [61] Cadena CEM “*Estudio del refinado de pastas de papel utilizando métodos biotecnológicos (enzimas)*”, Terrassa (España), Universidad Politécnica de Cataluña, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial y Aeronáutica de Terrassa, Departamento de Ingeniería Textil y Papelera, 2008
- [62] Fuentes LJ “*Estudio de secuencias de blanqueo de fibras recicladas con agentes reductores generados IN – SITU*”, Medellín (Colombia), Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Minas, Escuela de Procesos y Energía, 2008
- [63] Fuentes LJ, Uribe RG “Aplicación de blanqueo TCF en mezclas de fibras químicas y mecánicas recicladas: alternativa para la industria papelera”, *Energ.*, **42**, 9 (2009)
- [64] Barroso GM “*Pretratamiento de biomasa celulósica para la obtención de etanol en el marco de una biorrefinería*”, Madrid, Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Forestal, 2010
- [65] <http://www.taringa.net/posts/apuntes-y-monografias/3571782/Papel-y-celulosa-parte-2.html>