

Estudio de caracterización micrográfica y de composición química del tallo de rosal y su viabilidad como materia prima para cartón corrugado

Yessenia Lagunas^a, Hilda Palacios^b, Teófilo Escoto^b y Sagnite Ventura^{a*}

^aTecnológico de Estudios Superiores de Villa Guerrero. División de Ingeniería en Industrias Alimentaria. Carretera Federal Toluca-Extapan de la Sal km 64.5 La Finca Villa Guerrero. C.P. 5176, Estado de México. México.

^bDepartamento de Madera, Celulosa y Papel (CUCEI) de la Universidad de Guadalajara. Predio las agujas km 15.5 carretera a Nogales. C.P. 45020, Zapopan Jalisco. México

*sagnicruz@yahoo.com.

Recibido 24 de febrero de 2015, Aceptado 2 de junio de 2015

Resumen

En el presente trabajo se muestran los resultados obtenidos de la caracterización química y morfológica del tallo del rosal, con la finalidad de darle un valor agregado a los residuos leñosos de las flores generados en el municipio de Villa Guerrero y Coatepec de Harinas en el Estado de México. Se determinó el contenido de holocelulosa, α -celulosa, lignina y cenizas, según las Normas TAPPI para cada componente y método de Jayme-Wise. Se determinaron las propiedades biométricas de las fibras del tallo del rosal (longitud, diámetro, espesor de la pared y diámetro del lumen). Además, se estimaron los índices de calidad de pulpa para papel. Los resultados indicaron que el contenido de holocelulosa en los tallos del rosal (65.85 %) se encuentra ligeramente por debajo del intervalo de los materiales usados comúnmente en la producción de pulpa para papel. Posteriormente con la información obtenida se concluyó que la fibra del tallo del rosal, presentó características “buenas” para utilizarse como materia prima en obtención de pulpa celulósica a partir de estos residuos, y sugerirla en combinación con una fibra larga para la fabricación de cartón corrugado.

Palabras clave: Caracterización química, morfología de fibra, tallo del rosal, cartón corrugado.

1. Introducción

Los residuos son considerados como un subproducto de las actividades humanas, y su gestión representa un desafío que está siempre presente tanto en el mundo académico como para la industria. Esta gestión se ha enfocado en cinco vertientes: prevención de residuos, reutilización, reciclaje, recuperación de energía y eliminación [1].

La industria agrícola cuenta con grandes excedentes de materiales fibrosos de las cosechas. Debido a que estos materiales vegetales están constituidos por fibra lignocelulósica pueden representar una fuente importante para la obtención de materiales (celulosa y lignina) y energía [1]. De esta manera estos residuos podrían ser convertidos en productos de valor agregado, como papel y cartón.

Por otro lado, los residuos sólidos agrícolas son asociados a dos problemas importantes de contaminación: la biomasa descompuesta de estos residuos emite metano y produce lixiviados y la mayoría de los agricultores queman estos desechos ocasionando emisiones de dióxido de carbono.

Investigaciones recientes han establecido que el papel debe ser considerado más que un material para escritura, impresión y embalaje, enfatizando en su potencial como

material biodegradable y económico [1,2]. Se ha encontrado que es posible obtener pulpa celulósica de calidad utilizando residuos no maderables como bagazo de caña, paja de trigo y arroz, bambú, cáñamo, algodón y kenaf para la producción de papel [3,4].

Asimismo, otras fibras secundarias como el tallo del girasol, pseudotallo de plátano, corona de piña, hoja de maíz, coco, residuos de café y el agave obtuvieron buenos resultados para la fabricación de diferentes tipos de papel [5-8]. Sin embargo, la investigación sobre fibras vegetales obtenidas a partir de partes específicas de las flores, su caracterización, y producción de pasta celulósica es aun escasa.

Una parte fundamental de evaluar la factibilidad de una pulpa celulósica de origen vegetal es la caracterización de las fibras para conocer su composición química, su morfología y la cantidad que se genera [5]. Las características morfológicas de una fibra involucran longitud de la fibra, diámetro de la fibra, grosor de la pared y diámetro del lumen (cavidad interior de la fibra), este estudio ayuda a definir la respuesta de la fibra durante el proceso de refinación [3]. Asimismo, la composición química indica el porcentaje de rendimiento teórico a obtener durante el proceso de transformación de la pulpa.

Fibras vegetales se han evaluado para la fabricación de pulpa celulósica y papel. Se utilizó un proceso de



maceración para determinar la morfología de las fibras de coco [2] la cuál fue clasificada como fibra corta. El método para la obtención de la pulpa fue soda antraquinona, con diferentes combinaciones de álcali activo (18-22%), tiempo de cocción (90-150 minutos) y una temperatura fija de 170°C. La condición óptima para la producción de papel fue 22% de álcali activo, 120 minutos de tiempo de cocción y una temperatura de cocción de 170°C. Las propiedades físicas evaluadas al papel fueron opacidad, brillo, resistencia a la explosión e índice de rasgado.

Por otro lado, las hojas de maíz (*Zea mays*) y de bagazo de caña (*Saccharum officinarum* L.) se caracterizaron para conocer su composición química y morfología para la elaboración de una pulpa celulósica mixta [5]. Encontraron que el alto contenido de holocelulosa y α -celulosa tanto en hojas de mazorca de maíz como el bagazo de caña (78.86 y 43.14% b.s.; 73.24 y 41.67 % b.s., respectivamente), fueron en comparación, con otras fuentes de fibra, materias primas adecuadas para la fabricación de pulpa de papel. Sin embargo, las hojas de mazorca de maíz presentaron fibra con mejores características para la fabricación de una pulpa óptima, al situarse en el intervalo de “muy buena” según la clasificación de Runkel (Relación de Runkel de 0.466).

En otro trabajo se estudiaron 132 maderas de especies latifoliadas de México, determinándose los índices de calidad de pulpa para papel y clasificándose su calidad en base a la relación de Runkel [9]. Encontraron que las maderas con fibras más largas, paredes delgadas, diámetro de lumen ancho y densidades bajas a intermedias producen calidad de pulpa excelente, muy buena y buena.

De acuerdo con sus resultados recomendaron que sería conveniente desarrollar plantaciones comerciales para la obtención de materia prima para celulosa y papel con especies tales como: *Schzobium parahybum*, *Spondias mombin*, *Tilia mexicana*, *Jacaranda acutifolia* y *Nectandra aff. Tabascensis*.

Escoto y colaboradores [10] estudiaron la obtención de celulosa y su aplicación en papel corrugado a partir de tallo de higuera (*Ricinus communis* L.) mediante la aplicación de un diseño factorial 2^3 , encontraron las mejores condiciones del proceso alcalino para obtener la celulosa (tiempo, temperatura y % de reactivo), indicando que la pulpa obtenida al 100% de esta planta, mejora los resultados de las pruebas fisicomecánicas y de compresión que las mezclas con papel reciclado o con pulpa obtenida a partir de paja de trigo de evaluaciones realizadas previamente por los mismos autores.

El bagazo es un residuo del proceso de fabricación del azúcar a partir de la caña, considerado en México la mayor fuente de fibra para la industria de pulpa y papel [3]. Sin embargo, el almacenamiento y manejo de las fibras son aspectos críticos en el rendimiento, calidad y propiedades del bagazo de caña de azúcar. La pulpa es la principal materia prima en la fabricación de este producto, y está

constituida de fibras de celulosa, el deterioro de bagazo de caña durante el almacenamiento tendrá efectos sobre las propiedades físicas de las pulpas resultantes. Aguilar [3] evaluó el efecto de almacenar debido a la degradación de microorganismos y procesos fermentativos durante el almacenamiento de 12 meses en las propiedades mecánicas de la pulpa de bagazo de caña, comparadas con aquella blanqueada y sin blanquear obtenidas de bagazo fresco.

El pulpeo a la sosa aplicado al bagazo almacenado alcanzó los mejores resultados en cuanto a rendimiento, grado de deslignificación y propiedades ópticas; sin embargo, para pulpa de bagazo fresco las propiedades mecánicas y de drenado se incrementaron considerablemente en un 42, 61 y 53% para la prueba índice de explosión, resistencia al doblaje y longitud de ruptura respectivamente, sin embargo, la prueba fisicomecánica de rasgado disminuyó 14.2%.

Asimismo, determinaron que la pulpa de bagazo almacenado presentó un contenido menor de la fracción de fibras largas como consecuencia de la degradación.

Como justificación del presente trabajo se menciona que los municipios de Villa Guerrero, Coatepec de Harinas, Ixtapan de la Sal, Zumpahuacán y Tenancingo, ubicados en el Estado de México son considerados uno de los principales productores de flores con un 37% de la cosecha nacional [11]. La producción principal de esta cosecha es rosa, de los cuales el 25% aproximadamente de estas flores son descartadas por control de calidad; actualmente una parte de estos residuos leñosos de las flores son destinados al compostaje y el resto son enviados a la basura. Por esta razón el objetivo de esta investigación fue determinar una caracterización micrográfica y de composición química del tallo del rosal para evaluar su factibilidad como materia prima para la formación de un cartón corrugado a escala laboratorio.

2. Parte Experimental

Los tallos de rosal se colectaron de los residuos leñosos de las flores generados en los invernaderos ubicados en el municipio de Villa Guerrero y Coatepec Harinas en el Estado de México.

Tanto el muestreo como la preparación de las muestras para los análisis se llevaron a cabo de acuerdo con lo descrito en las normas TAPPI (TAPPI, 1997) (Tabla 1) y en el ensayo Jayme-Wise.

Determinación de los componentes químicos

La preparación de la muestra (tallo del rosal) para la composición química y morfológica se realizó como se describe en la norma TAPPI 264 cm-97. Los tallos del rosal se descortezaron, cortaron a 5 cm de longitud y posteriormente fueron secados al aire libre (temperatura ambiente de 30 a 32°C aproximadamente, por 72 horas) para que el material perdiera la mayor humedad como lo



indica la técnica TAPPI 264 om-88 (Figura 1).



Figura 1. Tallo de rosa descortezado

El material se pasó por un molino de martillo y se tamizó en un equipo Ro-Tap. El primer tamiz fue de malla número 40 y el segundo de malla número 60. La muestra retenida en el último tamiz fue considerada para la caracterización química. De acuerdo con la norma TAPPI 264 cm-97, la muestra tiene que estar libre de extraíbles, por lo que se sometió a un proceso de extracción Soxhlet usando etanol-tolueno (1:2) durante 6 horas, seguido de un lavado con etanol y una segunda extracción también con etanol (95% pureza) para extraer taninos condensados y clorofilas, durante 4 horas. Después la muestra se lavó con 500 mL de agua destilada y se dejó secar a temperatura ambiente.

Tabla 1. Análisis para la determinación de los componentes químicos TAPPI efectuados en el tallo de rosal (TAPPI, 1997).

Descripción	Técnica
Determinación de holocelulosa	Método Jayme-Wise
Determinación de α -celulosa	TAPPI 203 cm-99
Determinación de lignina	TAPPI 222 om-98
Determinación de cenizas	TAPPI 211 om-93

Caracterización morfológica

Para el estudio morfológico se partió de la aplicación del método de maceración Franklin con la finalidad de obtener células aisladas. El material fibroso se colocó en tubos de ensayo añadiéndoles partes iguales de ácido

acético (CH_3COOH) y peróxido de hidrógeno (H_2O_2). Se colocaron en 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.

Después, las células se tiñeron con safranina acuosa, 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 las 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 10 mediciones de longitud (mm) y diámetro (μm) de las fibras, así como del diámetro del lumen (μm). Con los datos obtenidos se calculó el espesor de la pared (Ec. 1) e índices de calidad como coeficiente de flexibilidad (Ec.2) y Relación Runkel (Ec.3)

$$W = \frac{AF - \text{Lumen}}{\text{Lumen}} \quad (1)$$

$$CF = \frac{D_{\text{Lumen}}}{D} \quad (2)$$

$$RR = \frac{2W}{\text{Lumen}} \quad (3)$$

Donde W, espesor de la pared; AF, ancho de la fibra; CF, coeficiente de flexibilidad; D, diámetro de la fibra; D_{Lumen} , diámetro del Lumen y RR, relación Runkel.

3. Resultados y discusión

Caracterización química

Los resultados obtenidos de la caracterización química de los tallos del rosal, se presentan en la Tabla 2. Comparados con los valores encontrados en la literatura para el tallo del girasol, se puede decir que estos dos materiales fibrosos son muy similares [13]. El contenido de holocelulosa en el tallo del rosal fue del 65.85%, valor que se puede considerar adecuado, dado que se encuentra solo un poco por debajo del intervalo de los materiales usados para la producción de pulpa de papel (67-70% material b.s.) [5,6]. Sin embargo, en comparación con otras fuentes como la pulpa de café (*Coffea arabica*) (56.75%) y el Clon de *Hevea brasiliensis* (50.28%) fue superior, el primero evaluado para elaborar papel mate y el segundo para conocer su potencial papelero [7,14]. Con respecto a la α -celulosa el porcentaje fue de 62.88%, un valor mayor al del tallo del girasol, corona de piña y a la hoja de mazorca (Tabla 2), pero menor con respecto al reportado en las astillas del Árbol de Majagua, *Heliocarpus Donnell Smothii* (67.26% el cuál aumento después del proceso de obtención de pulpa y blanqueo a 87.7%) [12].





Tabla 2. Composición química del tallo del rosal y comparación con resultados publicados.

Fuente de fibra	Holocelulosa (%)*	α -Celulosa (%)*	Lignina (%)*	Cenizas (%)*
Tallo de rosal (este trabajo)	65.85	62.88	22.72	1.51
Hoja de mazorca [5]	78.86	43.14	23.00	0.76
Corona de piña [6]	70.58	22.16	11.75	0.53
Pulpa de café (<i>Coffea arabica</i>) [7]	56.75	43.28	36.87	6.11
Árbol de Majagua, <i>Heliocarpus Donnell Smothii</i> [12]	-----	67.26	19.63	10.40
Tallo de girasol [13]	66.9	37.6	10.8	-----
Clon de <i>Hevea brasiliensis</i> [14]	50.28	-----	21.92	-----

Porcentaje (%) base seca y libres de extraíbles*

El tallo del rosal presentó un contenido de lignina elevado (22.72%), propio de la naturaleza de estas fibras como el reportado para la hoja de mazorca de maíz (*Zea Mays*) [5], ambos, comparados con el contenido de lignina de materias latifoliadas, que se sitúan entre el 23 y 30%.

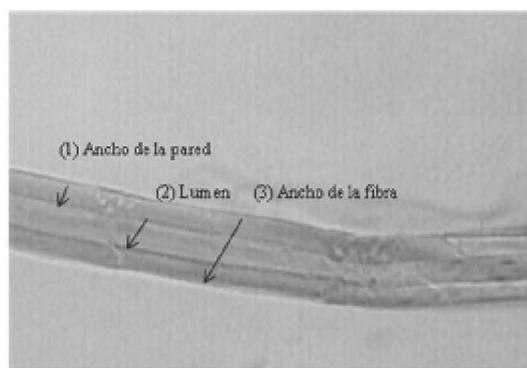
Con este valor podría estimarse que la carga de agentes químicos y tiempo de reacción durante el proceso de pulpeo, serán inferiores o iguales a los aplicados para maderas latifoliadas y plantas anuales. Por otro lado, el porcentaje de lignina en el tallo de rosal es bajo comparado con el residuo del café (*Coffea arabica*) (36.78%), en un material destinado a la elaboración de pulpa celulósica, se desea contar con un menor contenido de lignina, ya que se considera el principal componente a eliminar, un alto contenido en la pasta va en detrimento de la calidad de papel ya que las fibras son poco flexibles, no se unen adecuadamente y el papel presenta poca resistencia [12].

Con respecto al análisis de cenizas, el cual indica la cantidad de impurezas, como iones metálicos, sílice y sales [6] el porcentaje que presentó el tallo del rosal fue bajo (1.51%), inferior al del Árbol de Majagua, *Heliocarpus Donnell Smothii* (10.40%) y al del residuo del café (*Coffea arabica*) (6.11%), estos valores serían importantes porque algunos de estos pueden tener influencia en el proceso de blanqueo, haciendo que este sea más prolongado.

Caracterización morfológica de las fibras

Propiedades biométricas de las fibras

El tallo del rosal presentó fibras, parénquima y vasos (Figura 3 a, b y c). En la figura 2 y Tabla 3 se aprecian las propiedades biométricas y los resultados de las mediciones biométricas de las fibras que forman parte del tallo del rosal. Dichos valores son comparados con las dimensiones de otras especies como *Styrax ramirezii*, hoja de mazorca de maíz (*Zea mays*), tallo de algodón, entre otras que han sido estudiadas para evaluar su viabilidad como materia prima para la elaboración de papel.



200 aumentos

Figura 2. Propiedades biométricas de las fibras del tallo del rosal

En la industria del papel es común tener la idea “que solo fibras largas dan resistencia al papel, aunque en ocasiones la resistencia del papel depende del enlace de las fibras que da la longitud de éstas” [6], en este sentido no se puede decir que, siempre las mayores longitudes de fibra reflejan una mejor calidad de pulpa, ya que dimensiones como el grosor de la pared celular también influyen [12].

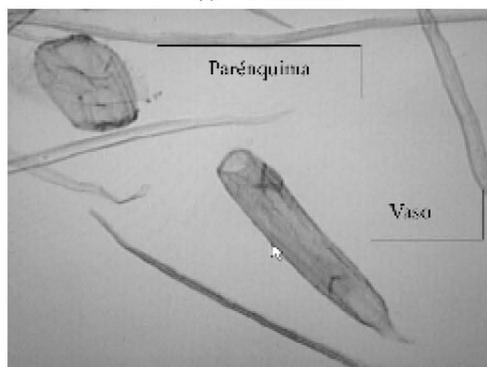
Las fibras de madera se suelen dividir en fibras largas (coníferas) cuya longitud oscila entre 2.5 y 4 mm con diámetros aproximados de 30 a 40 μm , y fibras cortas (latifoliadas) de abedul, salicáceas y, la más usada, eucalipto, que tienen longitudes entre 0.5 y 3.5 mm y diámetros de 10 a 40 μm [12]. La longitud de las fibras del tallo del rosal fue en promedio de 0.64 mm, por lo que puede ser considerada una fibra corta [2, 6], es similar a la que presentan algunas maderas latifoliadas como la *Styrax ramirezii* (0.67 mm) (Tabla 3). El diámetro de la fibra es de 40 μm parecido al que presentan otras fibras no maderables como la hoja de mazorca (47.4 μm) [5] y superior a la de coco, tallo de algodón y *Styrax ramirezii* (Tabla 3). De acuerdo a la literatura esto representa una ventaja en el proceso de formación del papel, porque origina una rigidez mayor y aumenta considerablemente la resistencia al rasgado [6,12].

Las fibras del tallo del rosál presentaron un espesor de la pared celular promedio de $8\ \mu\text{m}$, se ha observado una relación directa entre el espesor de la pared con la calidad de las pulpas, donde a menor grosor, mejor es la calidad [9], ya que fibras de pared gruesa se mantienen rígidas, no se colapsan, tienen poca superficie de contacto y por lo tanto la unión de fibra es pobre.

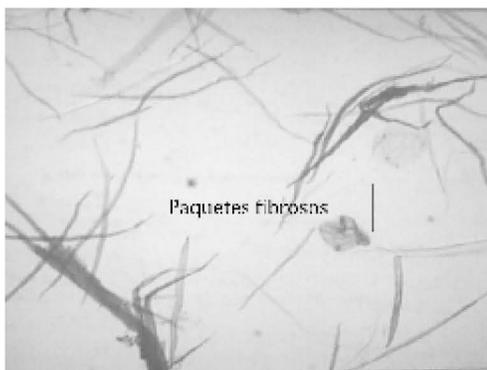
Por lo anterior, esta característica contribuye a la producción de un volumen mayor de la pulpa, hojas más gruesas y resistentes al rasgado, explosión y tensión lo que se comprueba con su coeficiente de flexibilidad (CF) (0.6), cuyo valor es mayor que 0.5 [6,12]. El diámetro del lumen del tallo del rosál fue de $10\ \mu\text{m}$, por debajo de las citadas en la Tabla 3.



(a) 20 aumentos



(b) 50 aumentos



(c) 50 aumentos

Figura 3a, b y c) Morfología de las fibras del tallo del rosál.

Índices de calidad de las fibras

A partir de la medición biométrica de las fibras: largo, ancho, lumen y espesor de la pared celular, se calcularon los índices de calidad de la pulpa, utilizando la relación de Runkel. Cuanto menor sea este índice mayor flexibilidad de las fibras y mayor posibilidad de producir papel de buena calidad. Cuando este índice es menor que 0.25, se considera que la calidad de la pulpa es excelente para la fabricación del papel. Si el valor se sitúa entre 0.25 y 0.50, la calidad de la pulpa del papel será muy buena. Entre 0.50 y 1.00 se tendrá calidad buena [5]. De acuerdo a estos valores la relación Runkel para el tallo del rosál fue de 0.8, lo que puede considerarse una pulpa de buena calidad y óptima para la elaboración de papel. Finalmente si esta relación es mayor a 2.0 la calidad de la pulpa es mala.

La relación de Runkel, nos indica el colapsamiento que se produce en la fibra y se relaciona con sus buenas propiedades. De acuerdo a los rangos de la clasificación de Runkel 0.50 a 1 la pulpa de tallo de rosál se encuentra clasificada como buena (0.8) para la producción de papel [2], de acuerdo a la clasificación de flexibilidad la pulpa se encuentra clasificada como “media” que presenta características como buena superficie de contacto, buena unión de fibra a fibra y fibras parcialmente colapsadas y finalmente de acuerdo al coeficiente de rigidez la pulpa está clasificada como “media” por encontrarse entre los rango 0.50 a 0.35 [4].

El coeficiente de flexibilidad, hace referencia a la obtención de un mayor largo de ruptura y mayor índice de explosión de las fibras. A mayor CF aumenta la facilidad de colapso entre las fibras, esto afectará al índice de tensión y explosión. El valor obtenido para las fibras del tallo del rosál (0.6), se encuentra en el límite medio de la clasificación de Tamarit [9]. Este índice de flexibilidad indica que las fibras del tallo del rosál tienen la propiedad de colapsarse parcialmente.

Tabla 3. Propiedades biométricas comparativas de fibras de diversas fuentes

Especie	Longitud de la fibra (mm)	Diámetro de la fibra (μm)	Diámetro del Lumen (μm)	Espesor de la pared (μm)
Tallo del rosal (este trabajo)	0.64	40	10	8
Coco [2]	0.84	20.1	13.6	4.4
Tallo de algodón [4]	0.83	19.6	12.8	3.4
Hoja de mazorca de maíz (<i>Zea mays</i>) [5]	1.86	47.4	32.1	7.5
<i>Styrax ramirezii</i> [9]	0.67	20.0	13.6	3.0
Árbol de Majagua, <i>Heliocarpus Donnell Smothii</i> [12]	1.89	16.30	3.4	32.60

4. Conclusiones

De la composición química, en donde se obtuvo el 65.8% en holocelulosa y 62.8% en alfa celulosa (fracción de carbohidratos), y a pesar que el contenido de holocelulosa se encuentra por debajo del rango mínimo (67 a 70%), el contenido de alfa celulosa es muy bueno ya que está sobre el rango superior (40 a 60%), el cual es un indicador para los materiales comúnmente utilizados en la producción de pulpa para papel.

Con respecto a los estudios de caracterización micrográfica, las fibras del tallo del rosal se clasifican como una fibra corta con longitud promedio de 0.64 mm, 40 μm de diámetro, 10 μm de diámetro de lumen y 8 μm de espesor de pared celular. Así mismo en los índices y coeficientes de calidad de fibra, estos muestran de acuerdo a la relación o índice Runkel, rigidez y esbeltez, buena calidad de fibra.

Por otro lado, su pared delgada y su buena flexibilidad, puede originar buena superficie de contacto y buena unión fibra a fibra durante la formación del papel.

Finalmente, los análisis realizados al tallo del rosal determinaron que es una fuente fibrosa con buenas características químicas y morfológicas para la fabricación a nivel laboratorio de papel y cartón corrugado, combinado con una fibra larga adecuada. Además, con ello se ayuda al medio ambiente al posibilitar el aprovechamiento de los desechos generados y su probable aplicación con vista a un empaque de presentación de las flores.

5. Agradecimientos

Se agradece al Departamento de Madera, Celulosa y Papel, del Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías, de la Universidad de Guadalajara, las facilidades prestadas para la utilización de los laboratorios de investigación del Centro y a los investigadores Teófilo Escoto García e Hilda Palacios Juárez.

5. Referencias

- Asim, N.; Emdadi, Z.; Mohammad, M.; Yarmo, A. M. y Sopian K. *Clen. prod.* **2015**, 91, 26-35.
- Main, M. N.; Talib, A. R.; Ibrahim, R.; Rahman, A.R. y Mohamed, Z. A. *Agr. Agri. Sci. Proc.* **2014**, 2, 304-311.
- Aguilar, R. N. *Ing. Invest. y Tecn.* **2011**, 1, 189-197.
- Ververis, C.; Georghiou, K.; Christodoulakis, N.; Santas, P. y Santas, P. *Ind. Crop. Prod.* **2004**, 19,245-254
- Prado, M. M.; Anzaldo, H. J.; Becerra, A. B.; Palacios, J. H.; Vargas, R. J.J. y Rentería, U. M. *Mad. y Bosq.* **2012**, 18, 37-51.
- Hernández, O. M. Elaboración y caracterización del papel artesanal de la corona del fruto de dos variedades de piña *Ananas comusus (L.) Merr.* Licenciatura, Universidad Autónoma de Chapingo, Chapingo, Texcoco Estado de México, **2008**.
- Aguilar, R. N.; Houbron, E.; Rustrian, E. y Reyes, A. C. L. Ra Ximhai. **2014**, 10, 103-117.
- Balam, C. J.R.; Duarte, A. S. y Canché, E. G. *Rev. Mex. Ing. Quím.* **2006**, 5, 39-44.
- Tamarit, U. C. *J. Mad. y Bosq.* **1996**, 2, 29-41.
- Escoto, G. T.; Rodríguez R. A.; Díaz, R. G.S.; Ochoa, R. G.H. y Uribe G. A. *Rev. Latin. Recur. Nat.* **2013**, 9, 115-123.
- Semarnat (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). http://www.semarnat.gob.mx/temas/gestionambiental/forestalsuelos/Anuarios/ANUARIO_2013.pdf. (accesado el 18 de diciembre de 2014).

12. Becerra, A. B.; Zepeda, M. G.; Sanjuán, D. R.; Vargas R. J. y Rentería, U. M. *Rev. Iberoam. Polim.* **2013**, 14, 153-171.
13. Garrote, G.; Eugenio, M. E.; Díaz, M. J.; Ariza, J. y López, F. *Biores. Technol.* **2003**, 88, 61-68.
14. Zerpa, J.; Mogollón, G.; Gutiérrez, I. y Aguilera, A. *Rev. Forest. Venez.* **2007**, 51, 79-