

# Bleaching of cellulose fiber from sugar cane (*Saccharum* spp.) straw with hydrogen peroxide

## Blanqueo de la fibra de celulosa de paja de caña de azúcar (*Saccharum* spp.) con peróxido de hidrógeno

García-Alcocer, Shirley, K.<sup>1</sup>; Salgado-García, Sergio<sup>2\*</sup>; Córdova-Sánchez, Samuel<sup>1</sup>; Rincón-Ramírez, Joaquín A.<sup>2</sup>; Bolio-López, Gloria I.<sup>1</sup>; Castañeda Ceja, Raúl<sup>1</sup>; Saucedo-Corona, Alma R.<sup>3</sup>; Falconi-Calderón, Richart<sup>4</sup>; Valerio-Cárdenas, Cintya<sup>1</sup>

<sup>1</sup>División de Académica de Ciencias Básicas e Ingeniería-Universidad Popular de la Chontalpa. CA-QVyDS. Carretera Cárdenas Huimanguillo km 2, Ranchería Paso y Playa, C.P. 86529, H. Cárdenas, Tabasco. México. <sup>2</sup>Colegio de Postgraduados Campus Tabasco, km 3.5 Periférico Carlos A. Molina S/N, C.P.86500, H. Cárdenas, Tabasco. México. Grupo MASCAÑA. <sup>3</sup>Departamento de Madera, Celulosa y Papel/ CUCEI. Universidad de Guadalajara. 45200 Zapopan, Jalisco. México. <sup>4</sup>Universidad Juárez Autónoma de Tabasco-Cunduacán, DACB. Carretera Cunduacán-Jalpa km 1, Col. La Esmeralda, Cunduacán, Tabasco, México. C. P. 86690.

\*Autor por correspondencia: [salgados@colpos.mx](mailto:salgados@colpos.mx)

### ABSTRACT

**Objective:** Optimize the treatment of cellulose bleaching, replacing the use of sodium hypochlorite with hydrogen peroxide.

**Design/methodology/approach:** A completely randomized design was used, the treatments were six processes of cellulose bleaching, which were carried out with 18 repetitions. To extract the cellulose, the artisanal method and 40 g of straw were used per treatment. The extraction and yield of cellulose and cellulose fiber, whiteness, crystallinity, granule size, purity of the cellulose and an economic analysis of the cost of the bleaching process were evaluated.

**Results:** The average cellulose fiber extracted was 14 g, meaning that the yield of cellulose fiber was 35%. The average cellulose was 8 g, which represents a yield of 39.9% cellulose. The whiteness with sodium hypochlorite was 86.6 %, with a crystallinity of 65.9% and the cellulose granule size was 2.6 nm, and with hydrogen peroxide whiteness was 83%, the crystallinity was 68 % and the average granule size was 2.7 nm, according to the XRD method. This means similarity in both bleaching process. According to the FTIR analysis, the cellulose bleached in both processes is similar to the cellulose structure.

**Limitations on study/implications:** Cellulose bleaching is more expensive with hydrogen peroxide process.

**Findings/conclusions:** The cellulose extracted from the sugar cane straw, bleached with hydrogen peroxide presents acceptable characteristics to produce artisanal paper.

**Keywords:** Cellulose, fiber, extraction, yield.

### RESUMEN

**Objetivo:** Optimizar el tratamiento de blanqueo de celulosa, sustituyendo el uso de hipoclorito de sodio por peróxido de hidrógeno.

**Diseño/metodología/aproximación:** Se utilizó un diseño completamente al azar, con seis procesos de blanqueo de celulosa realizados con 18 repeticiones. Para extraer la celulosa se usó el método artesanal y 40 g de paja por tratamiento. Se evaluó la extracción y rendimiento de fibra de celulosa y celulosa, blancura, cristalinidad, tamaño de gránulo, pureza de la celulosa y un análisis económico del costo del proceso de blanqueo.

**Resultados:** El promedio de fibra de celulosa extraída fue de 14 g, esto significa que el rendimiento de fibra de celulosa fue 35%. El promedio de celulosa fue de 8 g que representa un rendimiento de 39.9% de celulosa. La blancura con hipoclorito de sodio fue del 86.6%, la cristalinidad de 65.9% y un tamaño de granulo de celulosa de 2.6 nm, y con peróxido de hidrógeno fue del 83%, la cristalinidad del 68% y el tamaño de granulo promedio fue 2.7 nm, según el método de XRD, indicando resultados similares. De acuerdo al análisis de FTIR, la celulosa blanqueada en ambos procesos, fue similar a la estructura de celulosa reportada en la literatura.

**Limitaciones del estudio/implicaciones:** Se observó un costo más elevado en el blanqueo de la celulosa con el peróxido de hidrógeno.

**Hallazgos/conclusiones:** La celulosa de la paja de caña de azúcar blanqueada con peróxido de hidrógeno presenta características adecuadas para elaborar papel artesanal.

**Palabras claves:** Fibra de celulosa, extracción, rendimiento.

Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco, dónde se extendió sobre bolsas negras de plástico para su secado. La paja se cortó manualmente con tijeras a un tamaño de 40 mm de largo. El diseño experimental utilizado fue completamente al azar, donde los tratamientos fueron seis procesos de blanqueo (Cuadro 1), que se realizaron con 18 repeticiones cada uno.

### Variables de estudio

**Fibra de Celulosa.** El proceso de extracción de fibra de celulosa se realizó utilizando como reactivo a la sosa caustica comercial y una muestra de 40 g de paja, de acuerdo al método artesanal (García-Estrada *et al.*, 2017).

**Celulosa.** El proceso de blanqueo constó de hidrólisis, cloración para eliminar lignina, y extracción alcalina, de acuerdo con García-Estrada *et al.* (2017). En esta etapa se usaron 20 g de fibra de celulosa. El blanqueo se realizó con dos reactivos, hipoclorito de sodio (NaClO) y peróxido de hidrógeno (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>). La celulosa obtenida se colocó en un vaso de precipitado de 1000 mL. Posteriormente, se le adicionaron 240 mL de solución preparada y se procedió a homogenizar durante una hora, utilizando un agitador de vidrio. Se realizaron ocho lavados con agua corriente, retirándose el exceso de agua, se desmenuzó y se colocó en charolas de aluminio, obteniendo la celulosa blanqueada. Después de reposar por 24 h a temperatura ambiente, se realizó un secado con la estufa de aire forzado a 65 °C por 24 h. Finalmente, se registró el peso seco de la muestra obtenida (Bolio-López *et al.*, 2011).

Para el blanqueo con hipoclorito de sodio, se utilizó una concentración

## INTRODUCCIÓN

La paja de la caña de azúcar (*Saccharum* spp.) es un residuo aprovechable cuando se usa correctamente. Su quema genera emisiones de CO<sub>2</sub>, emisión de partículas a la atmosfera en campo y fábrica, y se evita el reciclaje de nutrientes en el suelo (Salgado *et al.*, 2013). La producción potencial de paja de caña de azúcar es de 14 369 004 t anuales, de las cuales el 50% podrían ser utilizadas para la producción de papel comercial y artesanal, y con ello mejorar los ingresos económicos de los productores de caña de azúcar (García-Estrada *et al.*, 2017). El papel es muy importante en la vida cotidiana, por lo cual, generar acciones para su obtención a fin de aprovechar los recursos naturales es adecuado para un desarrollo sustentable. La obtención de papeles para impresión requiere de la eliminación de la lignina residual presentes en las pastas químicas con un proceso de blanqueo (Cadena, 2008). El blanqueo es un requisito esencial para la obtención de un alto grado de blancura, o bien, alto nivel de reflexión de la luz en el papel. A pesar de que el gas de cloro y el dióxido de cloro son extremadamente eficaces en el blanqueo de fibras de madera, las consideraciones ambientales han llevado a la eliminación gradual de dichas sustancias químicas en el proceso de blanqueo. Los compuestos de cloro no pueden neutralizarse completamente en la estación de tratamiento de efluentes de la fábrica. Por lo tanto, las aguas del proceso de blanqueo vertidas en ríos o mar contienen residuos de compuestos de cloro (como ejemplo dioxinas) que consumen oxígeno y destruyen los hábitats acuáticos (SCA, 2010). El objetivo del presente trabajo fue optimizar el proceso de blanqueo de fibra de celulosa de paja de caña de azúcar (*Saccharum* spp.) con peróxido de hidrógeno.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La paja utilizada en este estudio fue recolectada del área de cosecha mecánica de caña de azúcar (*Saccharum* spp.) variedad MEX-69-290, cultivada por Impulsora Agrícola, Ganadera y Comercial, S.P.R. de R.L. de C.V en el Ejido La Nueva Esperanza, Cárdenas, Tabasco, México. La paja fue trasladada al

al 0.5% (15 mL de Cloralex® con 270 mL de agua potable purificada). Para los blanqueos con peróxido de hidrógeno se procedió de igual forma que con hipoclorito de sodio.

**Color.** El color se determinó con un colorímetro Hunter Lab MiniScan XE Plus®, utilizando un espacio de color CIE L\* a\* b\*. El valor L\* representa la claridad, el valor a\* representa el eje rojo/verde y el valor b\* representa el eje amarillo/azul (X-Rite, 2002). La técnica consistió en colocar el equipo calibrado sobre las muestras de celulosa de paja de caña de azúcar, efectuando la lectura en parámetros CIElab. Los resultados se obtuvieron atendiendo a los datos reflejados en el valor L\* y se compararon con los resultados obtenidos en las lecturas realizadas a una Hoja Scribe® con 99% de blancura, como muestra patrón.

### Caracterización de la celulosa

**La cristalinidad y el tamaño de los gránulos,** fue determinada con un difractor modelo D8 Advance (Bruker™). Para ello, se utilizó 1 g de muestra previamente molida en un Molino marca Wiley, con un tamiz de 2 mm. Los resultados obtenidos, se procesaron en el sistema EVA de Bruker™ con una base de datos PDF 2012. Los difractogramas se procesaron en el software Origin Pro 8 2014. El porcentaje de cristalinidad de las muestras se calculó con el modelo desarrollado por Segal et al. (1959) y el tamaño de gránulo, se calculó usando la ecuación de Scherrer (Cullity, 1978).

**La Pureza,** fue determinada por espectroscopia de infrarrojo (FTIR), con un equipo Nicolet ID5 ATR, utilizando las muestras molidas de la paja de caña de azúcar, así como las muestras de celulosa de paja de

caña de azúcar blanqueadas, tanto con hipoclorito de sodio, como con peróxido de hidrógeno.

### Formación de la hoja de papel artesanal

Se realizó con el uso de marcos de madera, con un tamaño de 21.4×34.2 cm y un grosor de 1.7 cm, así como un recipiente de plástico con un tamaño de 50×18 cm, según método de Salgado-García et al. (2017). Las hojas realizadas, se colocaron al aire libre bajo la sombra para su secado.

Para evaluar el color, rendimiento y celulosa, se utilizaron análisis de varianza de una vía, así como comparación múltiple de medias de Tukey, usando el software estadístico SAS versión 9.14. Para la extracción de fibra de celulosa (g) y el rendimiento de fibra de celulosa, se calculó el promedio y desviación estándar. Se determinó el costo de cada tratamiento de blanqueo, considerando la cantidad de reactivo utilizado y el precio del mismo.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El promedio de extracción de fibra de celulosa obtenida fue de 14.0±1.2 g, menor al reportado por García-Estrada et al. (2017), quien obtuvo 15.73 g en la extracción. El promedio del rendimiento de la fibra de celulosa fue de 35±3.0%, que indica que se pierde 65% del peso inicial de la paja; este valor, es menor al reportado por García-Estrada et al. (2017), quien obtuvo un rendimiento del 39%, al usar un tamaño de paja de 4 mm.

Respecto a la obtención de celulosa, se observaron diferencias significativas (P<0.05) (g) y rendimiento (%) entre tratamientos, con un CV de 18.6% para ambas variables (Cuadro 1). El tratamiento con hipoclorito de sodio 0.5% fue igual a los tratamientos con 2, 4, 6 y 8% de peróxido de hidrógeno (Tukey, P≤0.05); mientras que la menor cantidad de celulosa se obtuvo con peróxido de hidrógeno al 10%. El peróxido puede sustituir al hipoclorito de sodio en el blanqueo. La media de 8.0 g de celulosa y 39.9% de rendimiento de celulosa de este experimento, fue menor a los valores reportados por García-Estrada et al. (2017), quien registró una media de celulosa de 9.3 g y una

**Cuadro 1.** Obtención de celulosa de *Saccharum* spp. y su rendimiento con seis tratamientos de blanqueo.

Tratamientos de blanqueo	Celulosa (g)	Rendimiento (%)	Blancura (%)
1. Hipoclorito de sodio 0.5%	9.0a	45.2a	86.6a <sup>†</sup>
2. Peróxido de Hidrógeno 2%	7.6ab	38.1ab	84.7ab
3. Peróxido de Hidrógeno 4%	7.8ab <sup>†</sup>	39.0ab	82.3bcd
4. Peróxido de Hidrógeno 6%	7.8ab	39.1ab	80.9cd
5. Peróxido de Hidrógeno 8%	8.5a	42.9a	80.0d
6. Peróxido de Hidrógeno 10%	7.0b	35.3b	83.7abc
Media	8.0	39.9	83.0
CV (%)	18.6	18.6	3.8
Prob. de F	0.0021**	0.0021**	0.0001**
DSM	1.4	7.2	3.0

<sup>†</sup>Medias con la misma literal dentro de la misma columna significa que no hay diferencia significativa entre ellas. \*\* Altamente Significativo, \* Significativo y NS No significativo.

media de rendimiento de 46.6%. En este caso se observó que todos los tratamientos con Peróxido de hidrógeno contribuyeron a una mayor degradación de la lignina y de hemicelulosa, aun cuando se usó un tamaño de paja de 40 mm.

En cuanto al color, se observaron diferencias altamente significativas ( $P < 0.01$ ) de blancura entre tratamientos, con bajo CV, de 3.8% (Cuadro 1). La blancura del tratamiento con hipoclorito de sodio al 0.5% fue similar a los tratamientos con 2, 4 y 10% de peróxido de hidrógeno (Figura 1). Por lo cual, la sustitución del hipoclorito de sodio por el peróxido de hidrógeno al 2% ofrece una eficiencia similar, y sugiere menor impacto al ambiente. Estos resultados coinciden con lo reportado por Vicente (2012), quien en su estudio de efectividad de blanqueo

de celulosa extraída de algodón (*Gossypium hirsutum* L.) mediante el sistema tradicional coreano y dos sistemas químicos actuales (hipoclorito de sodio y peróxido de hidrógeno), reportó que los métodos de blanqueos actuales eran más eficientes que el método tradicional.

### Cristalinidad y tamaño de gránulo

**Cristalinidad.** Los difractogramas mostraron diferencias entre las intensidades del pico principal de las muestras de paja de caña y de la celulosa blanqueadas en los diferentes tratamientos (Figura 2), debido a las zonas amorfas que existen en las muestras de la paja de caña. Dicho efecto está asociado con una disminución de cristalinidad por los componentes no celulósicos (Arroyo, 2008). Los picos de mayor intensidad se encuentran en  $2\theta = 22.1^\circ$ , así como picos a  $2\theta = 15.8^\circ$ , y  $35.5^\circ$  (Figura 2),

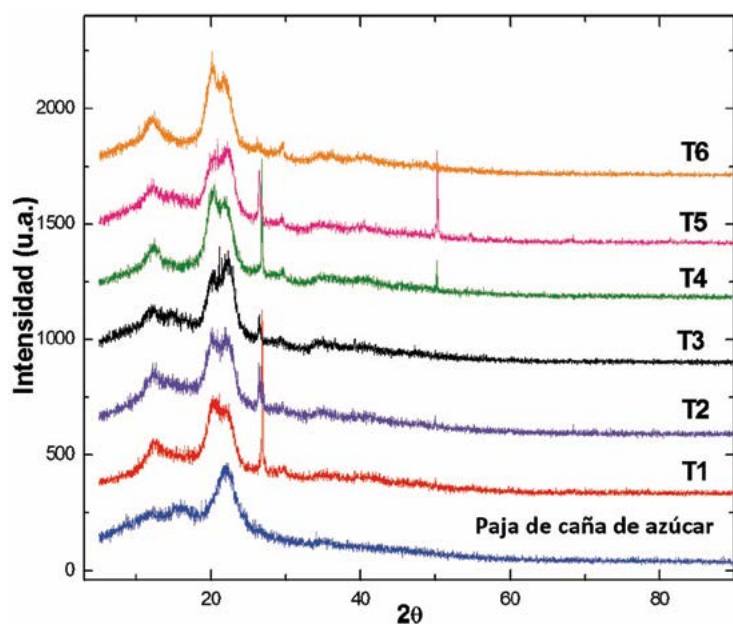
siendo estos picos característicos correspondientes a la estructura de la celulosa, coincidiendo con lo reportado por Bolio *et al.* (2011) y García-Estrada *et al.* (2017).

Los picos  $2\theta = 30^\circ$  y  $2\theta = 34.9^\circ$ , indicaron un cambio en la cristalinidad, debido al arreglo de los enlaces de hidrógeno que resultó en la transformación entre las fases de la celulosa nativa. El pico cristalino en  $2\theta = 26.8^\circ$  indicó aumento debido a la conversión entre celulosa ordenada y desordenada, ocasionada por el proceso de homogenización, ya que, en éste, las fibras se someten a altos esfuerzos de corte para destruir las zonas amorfas, alterando su proporción (Arroyo, 2008).

El porcentaje de cristalinidad de la muestra de paja de caña de azúcar fue de 46% (Cuadro 2), siendo este resultado menor al reportado por García-Estrada *et al.* (2017), quien obtuvo un 56% de cristalinidad de la paja de caña de azúcar. La cristalinidad aumentó en los tratamientos que recibieron el blanqueo. La mayor parte de los tratamientos a base de peróxido de hidrógeno superaron



**Figura 1.** Celulosa de *Saccharum* spp., blanqueada con: a) hipoclorito de sodio al 0.5%, b) celulosa blanqueada con peróxido de hidrógeno al 2%, y c) celulosa blanqueada con peróxido de hidrógeno al 4%.



**Figura 2.** Difractograma de las muestras de celulosa de la paja de *Saccharum* spp., y celulosa blanqueada en los tratamientos.

en cristalinidad al tratamiento con hipoclorito de sodio (Cuadro 2).

Lo anterior coincide con lo expuesto por Roy *et al.* (1994), quien al realizar estudios de cristalinidad por XRD a las fibras de yute, notó que a medida que eran blanqueadas, la cristalinidad aumentaba, debido a la eliminación de lignina y hemicelulosa durante la cocción y a la eliminación de celulosa menos ordenada. En este caso la mayor cristalinidad se obtuvo en los tratamientos de blanqueo con peróxido de hidrógeno al 4 y 8%, superando la cristalinidad de 64.24% para la celulosa blanqueada con hipoclorito de sodio reportada por García-Estrada *et al.* (2017).

El tamaño de gránulo de celulosa de la paja evaluada fue mayor a los tamaños de gránulos de la celulosa extraí-

da (Cuadro 2), presentando un tamaño de 3.8 nm, siendo mayor al reportado por García-Estrada *et al.* (2017), quienes obtuvieron un tamaño de gránulo de celulosa de la paja de caña de azúcar de 2.7 nm. En los tratamientos de blanqueo al 6 y 8% con Peróxido de hidrógeno, se observó una disminución de tamaño de gránulo en las muestras de celulosa blanqueada, mismos, que presentaron disminución en la blancura.

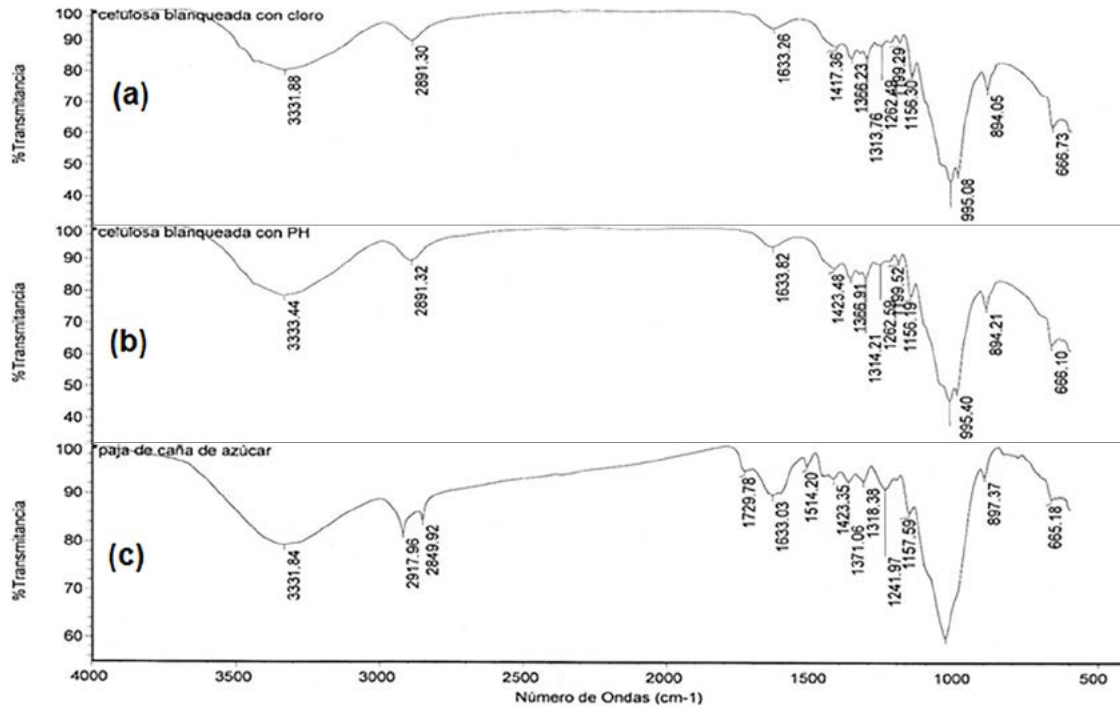
En cuanto a la pureza, los interferogramas de la muestra de celulosa de paja de caña de azúcar previamente molida (Figura 3a), se observaron bandas muy similares a las reportadas por García-Estrada *et al.* (2017). Se observó una banda en  $3331\text{ cm}^{-1}$  perteneciente al enlace Hidroxilo ( $^-\text{OH}$ ), así como una banda en  $2917.96\text{ cm}^{-1}$  correspondientes al estiramiento del enlace C-H de la celulosa y la hemicelulosa. De igual forma, se observó una banda en  $2849.92\text{ cm}^{-1}$  pertenecientes al enlace  $-\text{OCH}_3$  de la lignina; y una banda en  $1729.78\text{ cm}^{-1}$  la cual correspondió al estiramiento del enlace carbonilo ( $-\text{C}=\text{O}$ ). En  $1514.20\text{ cm}^{-1}$ , atribuido a que la paja de caña contiene celulosa, hemicelulosa y lignina.

Los espectros de celulosa blanqueada con peróxido de hidrógeno (Figura 3b), y celulosa blanqueada con cloro (Figura 3c), no presentaron diferencias en las bandas. Esto último sugiere que, en ambos tratamientos de blanqueo, se encuentra la misma conformación molecular, estructura cristalina (polimorfismo), así como la misma información de la naturaleza de los puentes de hidrógeno en la celulosa. En ningún tratamiento se observaron las bandas a  $1730\text{ cm}^{-1}$  correspondiente a grupos  $\text{C}=\text{O}$  presentes en hemicelulosas y lignina, ya que fueron eliminadas eficientemente con los tratamientos, sugiriendo que se obtuvo celulosa pura de la paja de caña de azúcar (Mina, 2012).

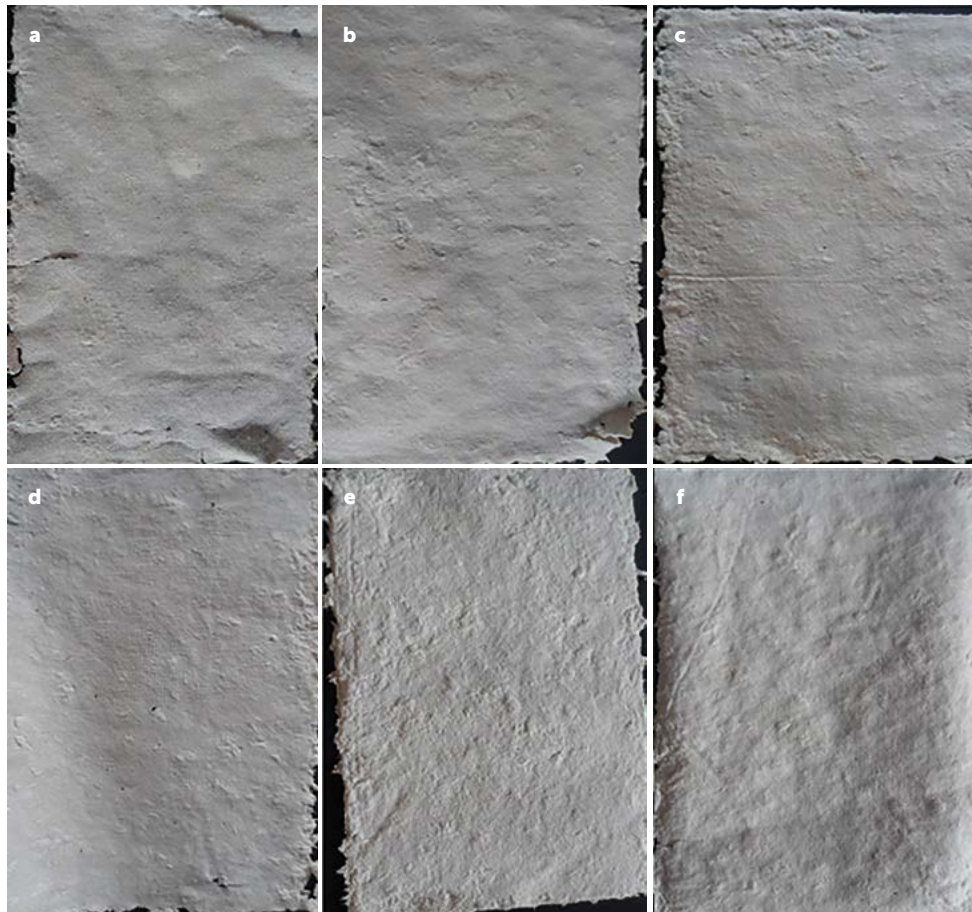
El tamaño de las hojas de papel artesanal formadas fue de  $15 \times 27\text{ cm}$  (Figura 4), con un peso promedio de 12.1 g y un grosor promedio de 0.2 mm; y respecto a la comparación de costos, el peróxido al 35% grado reactivo, tuvo un precio de \$10.00 USD, mientras que el hipoclorito de sodio Cloralex® de 1L cuesta en el

**Cuadro 2.** Cristalinidad de celulosa de *Saccharum* spp., con seis tratamientos de blanqueo

Tratamiento	Intensidad		Cristalinidad (%)	Tamaño de gránulo (nm)
	Máxima	Mínima		
1. Hipoclorito de sodio 0.5%	349.47	119.28	65.86	2.6
2. Peróxido de Hidrógeno 2%	360.29	157.60	56.25	2.7
3. Peróxido de Hidrógeno 4%	371.96	69.63	81.28	3.3
4. Peróxido de Hidrógeno 6%	385.33	68.98	82.09	2.5
5. Peróxido de Hidrógeno 8%	352.02	110.56	68.59	2.4
6. Peróxido de Hidrógeno 10%	406.86	92.27	77.32	2.7
Paja de caña de azúcar	357	636.7	46.08	3.8
Media			68.21	2.7



**Figura 3.** Interferogramas de las muestras de celulosa de *Saccharum* spp. a) Celulosa de la paja de caña de azúcar, b) celulosa blanqueada con peróxido de hidrógeno y c) celulosa blanqueada con hipoclorito de sodio.



**Figura 4.** Hojas formadas: a) hoja formada con tratamiento 1, b) hoja formada con tratamiento 2, c) hoja formada con tratamiento 3, d) hoja formada con tratamiento 4, e) hoja formada con tratamiento 5 y f) hoja formada con tratamiento 6.

mercado \$0.50 USD. El T1, en el cual se utiliza hipoclorito de sodio, es más económico que los demás tratamientos de blanqueo; no obstante, el T2 realizado con peróxido de hidrógeno, presentó mayor blancura.

## CONCLUSIONES

**El rendimiento** de fibra de celulosa fue 35% usando un tamaño de paja de 40 mm. El hipoclorito de sodio puede ser sustituido por el peróxido de hidrogeno ya que la cantidad extraída de celulosa, blancura, cristalinidad, tamaño del granulo y pureza es similar. La celulosa blanqueada con ambos métodos permitió formar hojas de papel artesanal de buena calidad. Al utilizar peróxido de hidrógeno de uso industrial el costo del blanqueo sería similar al del hipoclorito de sodio.

## LITERATURA CITADA

- Arroyo R. K. (2008). Biocompuestos de almidón termoplástico con microfibras de celulosa. Tesis de Maestría en Tecnología Avanzada, Instituto Politécnico Nacional-Unidad Altamira, Tamps, México.
- Bolio, L. G. I., Valadez, G. A., Veleva, L. y Andreeva, A. (2011). Whiskers de celulosa a partir de residuos agroindustriales de banano: obtención y caracterización. *Revista Mexicana de Ingeniería Química* 10(2): 291-299.
- Cadena, C. E.M. (2008). Estudio del refinado de pastas de papel utilizando métodos biotecnológicos (enzimas). Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Cataluña. Departamento de Ingeniería Textil y Papelera. Terrassa.
- Cullity, B.D. (1978). *Elements of X-Ray Diffraction*, second edition, Addison- Wesley, New York.
- García-Estrada, Y., Salgado, G.S., Bolio, L.G.I., Córdova, S.S., Lagunes, E.L.C., Falconi, C.R., y Veleva, L. (2017). Métodos para extraer celulosa de la paja de caña de azúcar (*Saccharum spp.*). *Agroproductividad* 10(11):54-59.
- Mina, J. (2012). Caracterización físico-mecánica de un almidón termoplástico (tps) de Yuca y análisis interfacial con fibras de fique. Popayán. *Rev. Bio. Agro.* 10(2): 99-109.
- Roy, A. K., Jain, A. K. and Sen, S. K. (1994). X-ray diffraction studies of Jute stick treated with some pulping and bleaching agents. *Cellulose Chemistry and Thechnology* 28(2): 121-127.
- Salgado, G. S., Lagunes, E. L. C., Núñez, E. R., Ortiz, G. F., Bucio, A. L., y Aranda I. E. M. (2013). CAÑA DE AZUCAR: Producción sustentable. BBA, Colegio de Postgraduados-Mundi Prensa.
- Salgado, G.S., Córdova, S. S., Turrado, S.J., Saucedo, C.A.R., Fuentes, M.J.G., García, E.Y., López, V.L.Y., García, A.S.K., y García, A.N.K. (2017). Papel artesanal de paja de caña de azúcar (*Saccharum spp.*). *Agroproductividad* 10(11): 48-53.
- SCA. (2010). "Fabricación de papel". Soporte técnico de los papeles para SCA Publication Papers. 16 p. Consultado 10 Noviembre de 2016. <https://www.sca.com/globalassets/papper/media/brochyer/papermaking-esp>
- Segal, L., Creely, J. J., Martin, A. E. and Conrad, C. M. (1959). An empirical method for estimating the degree of crystallinity of native cellulose using the X-ray diffractometer, *Textile Research J.* 29(10): 786-794.
- Vicente, P. S., Namgoung, S. Yusá, M. D. J., Montesinos, F. E. M. y Fuster, L. L. (2012). Estudio de la efectividad de blanqueo en el tejido de algodón mediante el sistema tradicional coreano y dos sistemas químicos actuales. *Publicación del Instituto Universitario de Restauración del Patrimonio de la UPV.* (6-7): 399-404.
- X-Rite. (2002). Guía para Entender la Comunicación del Color. Consultado el 7 de Febrero de 2016 en: [http://www.mcolorcontrol.com/archivos/L10-001\\_Understand\\_Color\\_es.pdf](http://www.mcolorcontrol.com/archivos/L10-001_Understand_Color_es.pdf)