

# ELABORACIÓN DE RECIPIENTES BIODEGRADABLES A PARTIR DE RESIDUOS DE CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum officinarum*): PLANTA PILOTO

## PREPARATION OF BIODEGRADABLE CONTAINERS FROM SUGAR CANE (*Saccharum officinarum*) RESIDUES: PILOT PLANT

Bolio-López, G.I.<sup>1\*</sup>, Veleva, L.<sup>2</sup>, Azamar-Barrios, J.A.<sup>2</sup>; Hernández-Villegas, M.M.<sup>1</sup>; Del Ángel-Meraz, E.<sup>3</sup>, Córdova-Sánchez, S.<sup>1</sup>, Correa-Durán, M.S.<sup>1</sup>, Pérez-Romero, J.<sup>1</sup>; Pérez-Romero, C.A.<sup>1</sup> Ross-Alcudia, R.E.<sup>1</sup>. Pelayo-Muñoz, L.<sup>1</sup>, Wyrick, R.M.<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Universidad Popular de la Chontalpa, Carr. Cárdenas-Huimanguillo Km. 2.0, 86500 Cárdenas, Tabasco, México. Cuerpo Académico Química Verde y Desarrollo Sostenible (CA-QVyDS), <sup>2</sup>CINVESTAV-Mérida, Física Aplicada, Carretera Antigua a Progreso, Km.6, Cordemex, 97310 Mérida, Yucatán, México.

<sup>3</sup>División Académica de Ingeniería y Arquitectura. UJAT, Cunduacán-Jalpa Km. 1. Col. La Esmeralda CP. 86690. Cunduacán, Tabasco, México.

\*Autor de correspondencia: [bgloriaivette@gmail.com](mailto:bgloriaivette@gmail.com).

### Resumen

Este estudio permitió evidenciar que es posible la obtención de celulosa a mayor escala (planta piloto) a partir de los residuos agroindustriales (paja) de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), obteniendo el 50% de rendimiento de fibra pretratada y mediante un tratamiento químico de hidrólisis ácida y blanqueamiento se obtuvo un rendimiento del 34% de celulosa final. El análisis de los difractogramas de rayos-X reveló que la cristalinidad de la celulosa obtenida es de 69%, con un tamaño promedio de cristales de 2.3 nm, mientras que la cristalinidad de la paja de caña (sin tratamiento) tuvo un valor menor (46%), con tamaño promedio del cristal de 2.6 nm, menor al de la celulosa obtenida con el tratamiento. La mayor cristalinidad de la celulosa fue atribuida a la manera eficiente de disolución de las regiones amorfas (lignina y hemicelulosas), confirmada con los interferogramas de Espectroscopía de infrarrojo (FTIR). Estos resultados aunados a la elaboración de prototipos mostraron que la paja de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), es una fuente de celulosa con gran potencial para la elaboración de recipientes biodegradables.

Palabras clave: Paja de caña, recipientes biodegradables, *Saccharum officinarum*, residuos agroindustriales.

\*Autor de correspondencia: [bgloriaivette@gmail.com](mailto:bgloriaivette@gmail.com)

**Palabras clave:** Paja de caña, recipientes biodegradables, *Saccharum officinarum*, residuos agroindustriales.

### Abstract

This study shows that is possible for the isolation of cellulose on a major scale (pilot plant) from agro industrial residues (straw) of sugar cane (*Saccharum officinarum*) obtaining 50% of pretreated fiber gain. Through chemical acid hydrolysis treatment and bleaching, a gain of 34% in final cellulose was obtained. Analysis of X-rays diffractograms revealed that the crystallinity of the cellulose isolated was 69%, with a crystal average size of 2.3 nm, while the crystallinity of sugar cane straw (raw sample) got a lower value (46%) with a crystal average size of 2.6 nm, less than that of cellulose isolated with the treatment. The major cellulose crystallinity was attributed to the efficient way of dissolution occurring in the amorphous regions (Lignin and hemicelluloses) confirmed by the Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR). These results and the elaboration of prototypes showed that sugar cane

(*Saccharum officinarum*) straw is a cellulose source of great potential for the elaboration of biodegradable containers.

**Keywords:** sugar cane straw, biodegradables containers, *Saccharum officinarum*, agroindustrial wastes.

## Introducción

La producción de caña de azúcar en México según datos de la SAGARPA (2016), es de 54.1 millones de toneladas, ocupando el sexto lugar a nivel mundial. Los principales estados productores son Veracruz, Jalisco y San Luis Potosí. En Tabasco, la producción de la caña de azúcar es una de las actividades principales de la economía; se cultivan alrededor de 27,668 hectáreas (IEA, 2011). Según datos oficiales, por cada hectárea cultivada se produce un promedio de 75 toneladas de caña de azúcar, generando 9 toneladas de paja y 29.25 toneladas de bagazo aproximadamente, haciendo un promedio de 38.25 de toneladas de residuos agroindustriales, de acuerdo a estas cifras se calcula que solo en Tabasco, se producen más de un millón de residuos producto de esta agroindustria.

En la actualidad la mayoría de agroindustrias no tiene algún plan para el aprovechamiento de sus residuos, debido al alto costo de su reutilización y por tal motivo los ubican junto con la basura en los vertederos o rellenos sanitarios; contribuyendo así al deterioro ambiental (Milena *et al.*, 2008).

La industria cañera es pilar de la economía de los tabasqueños gracias a la diversificación de la industria, ofrece grandes oportunidades de aprovechamiento no solo del cultivo, ya que los residuos también pueden ser empleados dándole así un valor agregado, además de eliminar una fuente de contaminación. Los residuos vegetales de la caña de azúcar se encuentran constituidos por fibras celulósicas, son ricos en celulosa, hemicelulosa, lignina y otras sustancias de bajo peso molecular que son conocidas como sustancias extraíbles (Bland, 1985; Fengel, 1984; Browning 1967). Se estima que por cada tonelada de materia prima se obtienen 170 kilogramos de celulosa, de manera que de una hectárea de caña se producirán 12.75 toneladas de celulosa, por lo que estos desechos constituyen, por sí mismos, una fuente de productos valiosos no solo de interés comercial sino también de investigación, los cuales pueden ser aprovechados de diferentes maneras.

En el Laboratorio de Materiales Poliméricos de la Universidad Popular de la Chontalpa (UPCH), se ha obtenido celulosa a partir de paja y bagazo de caña a nivel de laboratorio con un rendimiento en peso (base seca) del 33 y 48%, respectivamente para posteriormente ser utilizada en trabajos de investigación como fuente para obtención de nanocelulosa, que puede ser usada como refuerzo en materiales compuestos. El objetivo de este trabajo fue establecer las bases para la implementación de una planta piloto con la capacidad de procesar 5.0 kg de paja de caña por lote, y obtener valores mayores al 30% de celulosa en base seca para la transformación y elaboración de contenedores biodegradables desechables.

## Materiales y Métodos

La paja de caña de azúcar, fue colectada en el Poblado Plutarco Elías Calles (C-14), ubicado en la región de la Chontalpa, Cárdenas, Tabasco y todos los procesos posteriores para la obtención de celulosa se llevaron a cabo en la planta piloto, ubicada en la Universidad Popular de la Chontalpa.

La paja de caña de azúcar se recibió durante los meses febrero y marzo del 2016, se almacenó en bolsas de polietileno con peso aproximado de 2 Kg y se realizó un secado solar a temperatura ambiente, para eliminar el exceso de humedad. Posteriormente el material fue seleccionado cuidadosamente para evitar que se mezclara con varas y puntas de caña de azúcar, el material limpio y seco fue almacenado nuevamente en bolsas de polietileno. La paja de caña se picó con una picadora a gasolina Marca Gorsa

Mod. 1800 con motor de 5 HP de potencia, ya picada se empaquetó en bolsas de polietileno y se selló con cinta adhesiva para evitar la humedad ambiental, almacenándose para su posterior uso.

## **Obtención de celulosa**

### *Pretratamiento*

La metodología de pretratamiento realizada por Bolio *et al.* (2011), fue adaptada para la muestra de paja de caña, con el fin de eliminar ceras, pectinas y resinas presentes en la fibra. Para esto se colocaron en un tanque de pretratamiento 5 kg de la paja de caña de azúcar seca y picada en 100 L de solución de NaOH al 10% durante dos días

La fibra fue lavada con agua corriente hasta obtener un pH neutro, posteriormente se secó a temperatura ambiente y a la sombra durante 2 días, ya seca la fibra se realizó un prototipo utilizando un molde de plástico prensándolo con un peso de cemento de 800 kg.

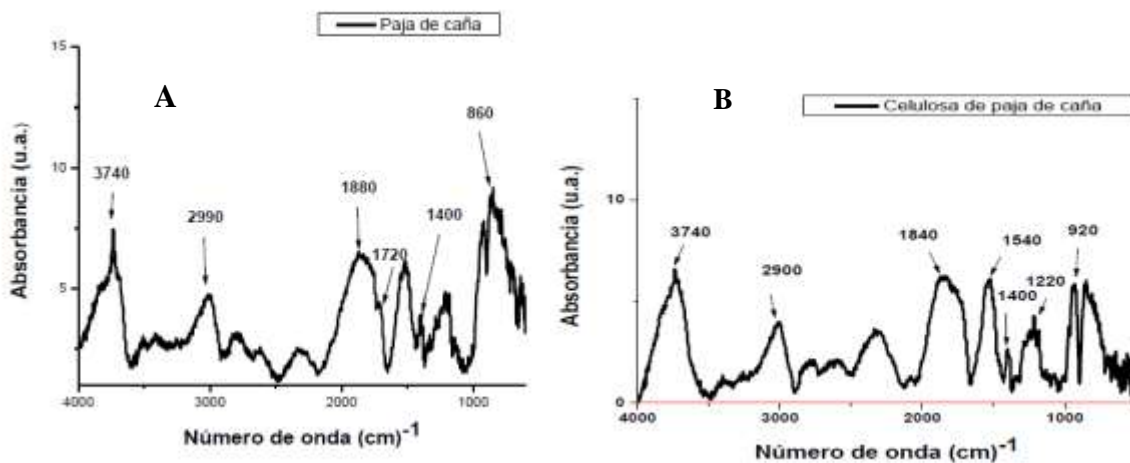
### *Tratamiento*

- Hidrólisis ácida. Con la finalidad de remover las regiones amorfas de la celulosa, la fibra pretratada se sometió a ebullición durante una hora dentro de un reactor de 50 L con una solución de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> al 0.4%. Transcurrido el tiempo, se lavó la fibra hasta obtener un pH neutro.
- Cloración. Durante este proceso se degrada la lignina y se reduce el tamaño de las cadenas de celulosa. La fibra obtenida de la hidrólisis ácida, se colocó nuevamente en el reactor durante 10 min, con una solución de NaClO al 3.5% previamente calentada a 40°C. Concluido el tiempo, se lavó hasta obtener un pH neutro.
- Extracción alcalina. La fibra del proceso anterior se colocó en el reactor durante una hora con solución NaOH 20%, concluido el tiempo se lavó hasta obtener un pH neutro.
- Blanqueamiento. La fibra de la extracción alcalina se colocó de nuevo en el reactor en una solución de NaClO 0.5% durante una hora. Posteriormente, la fibra se lavó hasta obtener un pH neutro, se dejó secar a temperatura ambiente y a la sombra durante dos días y un día en la cámara de secado a 60°C.

Al término del tratamiento se realizaron prototipos de celulosa con la fibra húmeda y pH neutro, utilizando un molde de plástico y un peso de cemento; los prototipos se dejaron en la cámara de secado a 60°C durante 72 h.

## **Resultados y discusión**

El rendimiento de la celulosa pretratada fue de 50% a partir de la paja de caña, mientras que el rendimiento final fue del 34%. Siendo menor al 48% obtenido del bagazo de caña (López-Martínez *et al.* 2016) debido probablemente a que la hoja tiene menor cantidad de fibra, que el tallo de la caña de azúcar y también, menor al 46% de celulosa obtenida de *Heliconia Latispatha* (García Fajardo, 2015); pero mayor al 27% obtenido de residuos de banana (Canché *et al.* 2005).

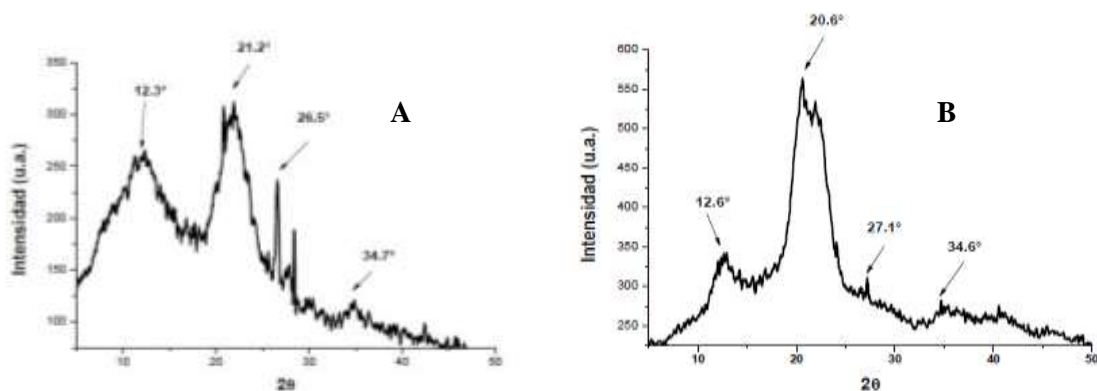


**Figura 1.** Interferogramas FTIR: A) Paja de caña, B) Celulosa de paja de caña.

La Figura 1 observamos el espectro de FTIR de las muestras de paja de caña y celulosa obtenida. La paja de caña muestra algunas bandas características debido a los anillos aromáticos de la lignina, presentes en la estructura básica (Liu *et al.*, 2008). Por ejemplo, el pico a  $1720\text{ cm}^{-1}$  es relacionado a los enlaces C-O del grupo carboxilo de los anillos aromáticos en la fibra de paja de caña sin procesar (Figura 1A). Sin embargo, en la banda de  $1720\text{ cm}^{-1}$  no está presente en la celulosa blanqueada e hidrolizada (Figura 2B), indicando que la lignina fue exitosamente removida durante el proceso. Por otra parte, observamos que los picos en el rango  $700\text{--}900\text{ cm}^{-1}$ , correspondientes a grupos C-H de hidrógenos aromáticos de la lignina también disminuyeron su intensidad, corroborando la remoción de la mayor cantidad de lignina de la fibra tratada (celulosa) (Morán *et al.*, 2008). Además, en la muestra de celulosa obtenida, la banda de  $3740\text{ cm}^{-1}$  (atribuida a los grupos OH) presenta una mayor intensidad que puede ser asociada al incremento de grupos hidroxilos libres.

La cristalinidad para la muestra de celulosa obtenida de paja de caña, fue de 69%, (Figura 2B), incrementándose con respecto al 46% correspondiente a la muestra de paja de caña (sin procesar) (Figura 2A), por el blanqueamiento y la hidrólisis, debido a la remoción de componentes de bajo peso molecular y fases amorfas, respectivamente.

La celulosa muestra mayor cristalinidad por las condiciones ácidas de obtención, sin embargo, ninguna muestra presenta el 100% de cristalinidad debido a los defectos de superficie y la fase amorfa, como lo reporta Driemeier *et al.* (2011), la cristalinidad de la celulosa es modificada durante los procesos de blanqueamiento e hidrólisis. El proceso de blanqueamiento puede promover la remoción de la lignina y las hemicelulosas, lo cual no solo disminuye el contenido de fase amorfa sino que también promueve la disminución del tamaño de cadena.



**Figura 2.** Difractogramas XRD: A) Paja de caña, B) Celulosa de paja de caña.

El tamaño promedio de los cristales de la celulosa obtenida de paja caña, fue de 2.3 nm y los de la muestra de paja de caña sin procesar fue de 2.6 nm. El tamaño de cristal en la celulosa extraída de la paja de caña de azúcar fue menor a la observada para el fruto de la ceiba (2.7 nm) (Hernández, 2014). La reducción del tamaño de cristal de la celulosa, puede deberse a la fuente, al método de extracción y a tratamientos posteriores a su extracción.

## Conclusiones

Este estudio demostró que es posible obtener celulosa de buena calidad a nivel planta piloto a partir de paja de caña de azúcar, aplicando una serie de tratamientos químicos descritos con anterioridad. La celulosa obtenida fue analizada y comparada con la paja de caña de azúcar a través del infrarrojo, en el cual se observa un decremento principalmente en la intensidad de los picos correspondientes a los grupos funcionales de los anillos aromáticos de la lignina, indicando que esta fue removida en mayor proporción con los procedimientos químicos aplicados. El rendimiento de celulosa fue de 34%; el análisis de los difractogramas rayos-X reveló que la cristalinidad fue de 64% en la celulosa, y cristales con un tamaño promedio de 2.3 nm, mientras que la cristalinidad de la paja de caña (sin tratamiento) tuvo un valor menor (46%) y cristales con un tamaño promedio de 2.6 nm. Estos resultados, aunados a la elaboración de prototipos de contenedores, permiten evidenciar que los residuos agroindustriales de paja de caña de azúcar (*S. officinarum*), son una fuente de celulosa con gran potencial para la elaboración de recipientes biodegradables.

## Agradecimientos

Los autores agradecen el financiamiento otorgado por la Secretaría de Economía (Convocatorias INADEM 2.8 y 2.6 Fomento a las Iniciativas de Innovación).

Los análisis de Difracción de rayos-X fueron realizados en el Laboratorio Nacional de Nano y Biomateriales (Financiado por Fomix-Yucatán y Conacyt), CINVESTAV-IPN. Unidad-Mérida. Damos las gracias a la PhD. Patricia Quintana por el acceso a LANNBIO y al M.S. Daniel Aguilar Treviño por su soporte técnico en la obtención de los difractogramas.

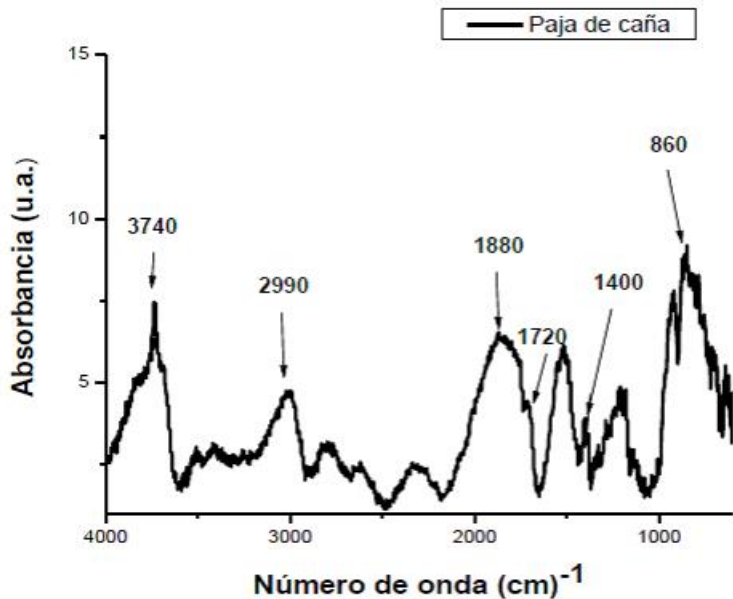
## Literatura citada

- Alexander, L.E. (1969). X-Ray Diffraction Methods in Polymer Science. Ed. John Wiley&Sons, Inc. New York, E. U. pp: 198-215, 262-268, 508.
- Bolio-López, G.I.; Valadez, A.; Veleza, L. (2011). Whiskers de celulosa a partir de residuos agroindustriales de banano: obtención y caracterización. Revista Mexicana de Ingeniería Química (RMIQ) 10: 291-299
- Bland, D. (1985). The composition and Analysis of eucalyptus wood. Appita, Vol. 38, 4:291-294.
- Browning, B. (1967). Methods of Wood Chemistry. Public. N.Y. London, Vol. 2, 800 pp Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects 142, 75-82.
- Canché G., De los Santos, J. M.; Andrade, S.; Gómez, R. (2005). Production of cellulose from banana plant agricultural waste. Información Tecnológica 16: 83-88.
- Cullity B.D. (1978). Elements of X-Ray Diffraction, 2nd edition, Ed. Addison-Wesley, New York. 554 p.
- Driemeier C.; Pimenta, M.T.B. Rocha, G.J.M. (2011). Evolution of cellulose crystals during prehydrolysis and soda delignification of sugarcane lignocellulose. Cellulose. 18: 1509–1519.
- Fengel, D. y Wegener, G. (1984). Wood Chemistry, Ultrastructure Reaction. Walter de Gruyter. Berlín. pp 220.
- García-Fajardo, N. A. (2015). Obtención y caracterización fisicoquímica de celulosa a partir del tallo de la planta *Heliconia latispatha* benth (“platanillos”) por el método Cazaurang modificado. Tesis de Licenciatura. División de Ciencias Básicas e Ingenierías. Universidad Popular de la Chontalpa. 52 p.
- Hernández-Córdova, B.I. (2014). Obtención y caracterización fisicoquímica de celulosa a partir del fruto de la especie *Ceiba pentandra* (L.) Gaertn (KAPOK). Tesis de Licenciatura. División de Ciencias Básicas e Ingenierías. Universidad Popular de la Chontalpa. 52 p.
- Indicadores Estatales Agronómicos (IEA), (2011). Subsecretaría de Fomento a los Agronegocios. SAGARPA. 6 p.
- Liu Q., Wang, S.; Zheng, Y; Luo, Z.; Cen. K. (2008). Mechanism study of wood lignin pyrolysis by using TG–FTIR analysis. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis 82: 170–177.
- López-Martínez A., Bolio-López, G.I.; Veleza, L.; Solórzano-Valencia, M.; Acosta-Tejada, G.; Hernández-Villegas, M.M.; Salgado-García, S.; Córdova-Sánchez, S. (2016). Obtención de celulosa a partir de bagazo de caña de azúcar (*Saccharum spp.*) AGROproductividad 9: 41-45.
- Milena, S., Montoya, L. y Orozco, F. (2008). Valorización de Residuos Agroindustriales -Frutas- en Medellín y el Sur del Valle del Aburrá, Colombia. Revista de la Facultad Nacional de Agronomía en Medellín. 61(1):4422-4432.
- Morán J.I., Álvarez, V. A.; Cyras, V. P.; Vázquez, A. (2008). Extraction of cellulose and preparation of nanocellulose from sisal fibers. Cellulose 15:149–159.

## **FIGURAS**

Figura 1. Interferogramas FTIR: A) Paja de caña, B) Celulosa de paja de caña.

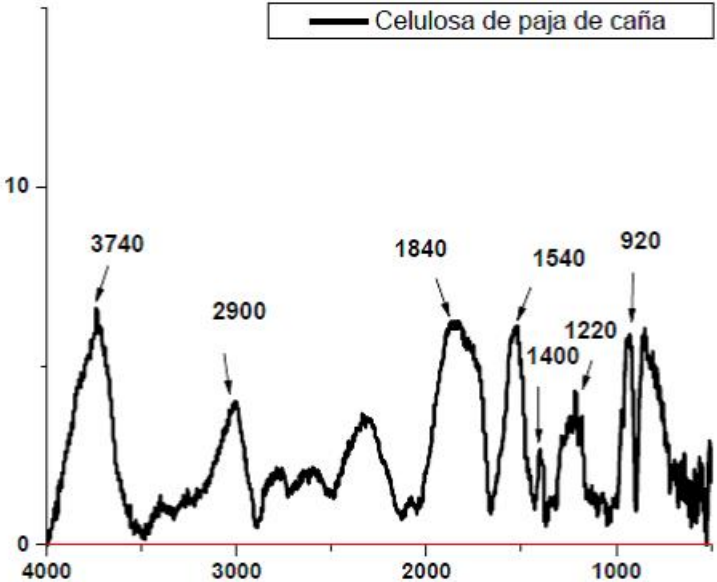
Figura 2. Difractogramas XRD: A) Paja de caña, B) Celulosa de paja de caña.





— Celulosa de paja de caña

Absorbancia (u.a.)



Número de onda (cm)<sup>-1</sup>

