



The World's Largest Open Access Agricultural & Applied Economics Digital Library

This document is discoverable and free to researchers across the globe due to the work of AgEcon Search.

Help ensure our sustainability.

Give to AgEcon Search

AgEcon Search

<http://ageconsearch.umn.edu>

aesearch@umn.edu

*Papers downloaded from **AgEcon Search** may be used for non-commercial purposes and personal study only. No other use, including posting to another Internet site, is permitted without permission from the copyright owner (not AgEcon Search), or as allowed under the provisions of Fair Use, U.S. Copyright Act, Title 17 U.S.C.*

No endorsement of AgEcon Search or its fundraising activities by the author(s) of the following work or their employer(s) is intended or implied.

MÉTODOS PARA EXTRAER CELULOSA DE LA PAJA DE CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum* spp.)

METHODS USED TO EXTRACT CELLULOSE FROM SUGAR CANE (*Saccharum* spp.) STRAW

García-Estrada, Y.¹; Salgado-García, S.^{2*}; Bolio-López, G.I.¹; Córdova-Sánchez, S.¹; Lagunes-Espinoza, L.C.²; Falconi-Calderón, R.³; Veleza, L.⁴

¹División Académica de Ciencias Básicas e Ingeniería, Universidad Popular de la Chontalpa. Cuerpo Académico de Química Verde y Desarrollo Sostenible (CA-QVyDS). H. Cárdenas, Tabasco, México. C. P. 86500. ²Colegio de Postgraduados Campus Tabasco. Grupo MASCAÑA-CP. Periférico Carlos A. Molina km 3.5. H. Cárdenas, Tabasco, México. C. P. 86500. ³Universidad Juárez Autónoma de Tabasco-Cunduacán, DACB. Carretera Cunduacán-Jalpa km 1, Col. La Esmeralda, Cunduacán, Tabasco, México. C. P. 86690. ⁴CINVESTAV IPN Unidad-Mérida. Antigua carretera a Progreso Km 6, Cordemex, Mérida, Yucatán, México. C. P. 97310.

*Autor de correspondencia: salgados@colpos.mx

RESUMEN

Los objetivos del trabajo fueron establecer un proceso artesanal para la extracción de celulosa de la paja de caña de azúcar (*Saccharum* spp.) cosechada en verde, de forma mecánica, y caracterizar su calidad. Se utilizó el método a la sosa y el artesanal, y en este último se utilizaron reactivos de uso industrial. La extracción de fibra de celulosa fue similar en ambos métodos. En el conocido como a la sosa se extrajo la mayor cantidad de pulpa de celulosa (10.02 g) y tuvo un rendimiento de celulosa superior a 6.96 % en comparación con el artesanal. La celulosa extraída de la paja de caña por ambos métodos fue pura, según análisis del FTIR. La cristalinidad de la celulosa de paja fue de 74.78 % a la sosa y 64.24 % con el artesanal, según la técnica de XRD. El tamaño promedio de cristales de la celulosa de paja fue similar en ambos métodos de extracción y es del tipo alfa-celulosa, que puede ser usada para diversos materiales en las industrias farmacéutica y alimenticia.

Palabras clave: fibras no maderables, alfa-celulosa, subproducto, blanqueo.

ABSTRACT

The objectives of the study were to establish an artisanal process for the extraction of cellulose from sugar cane straw (*Saccharum* spp.) harvested green, mechanically, and to characterize its quality. The caustic soda method and the artisanal method were used, and industrial reagents were used in the latter. The extraction of cellulose fiber was similar in both cases. The highest amount of cellulose pulp (10.02 g) was extracted with the caustic soda method and it had a cellulose yield higher than 6.96 % compared to the artisanal method. The cellulose extracted from the cane straw was 74.78 % with the caustic soda method and 64.24 % with the artisanal method, based on the XRD technique. The average size of crystals from the straw cellulose was similar with both extraction methods, and it is of the alpha-cellulose type, which can be used for various materials in the pharmaceutical and dietary industries.

Keywords: non-timber fibers, alpha-cellulose, byproduct, blanching.

INTRODUCCIÓN

Todas las metodologías para obtener pasta de celulosa para papel se basan en la separación de las fibras. Existen dos procesos principales: el método alcalino y el método del sulfito (Chávez y Domine, 2013); el proceso sulfito para la fabricación de pasta de celulosa con el tiempo ha sido sustituido por método kraft, que usa hidróxido de sodio (NaOH) y sulfuro de sodio (Na₂S) en digestores a presión. En este proceso el hidróxido de sodio degrada la lignina y el sulfuro de sodio acelera las reacciones de cocción, y decrece la degradación de la celulosa causada por el hidróxido de sodio. En el método alcalino o sosa no se utilizan los digestores, pero utilizan reactivos de alta pureza que resultan caros. Dado que la cosecha de caña de azúcar genera 14, 020,740 t año⁻¹ de paja y representa una fuente potencial de celulosa para la industria, es necesario buscar métodos que permitan reducir los costos de su extracción. Los objetivos del trabajo fueron establecer un proceso artesanal para la extracción de celulosa de la paja de caña de azúcar cosechada en verde y mecánicamente, y caracterizar su calidad.

MATERIALES Y MÉTODOS

Obtención de la paja de caña. La paja utilizada en este experimento provino de una plantación de caña de azúcar (*Saccharum* spp.) cultivada con la variedad MEX 79-431, que pertenece al área de abastecimiento del Ingenio Presidente Benito Juárez en Tabasco, México. La paja se llevó al Colegio de Postgraduados Campus Tabasco, donde se molió y picó en una picadora de forraje con malla de 4 mm. Posteriormente esta muestra se secó en una estufa de

aire forzado a 65 °C por 24 h. El diseño experimental utilizado fue completamente al azar, donde los tratamientos fueron dos métodos de extracción de celulosa y el proceso se realizó con 10 repeticiones.

Variables de estudio

Método a la sosa (Cazaurang et al., 1990)

Extracción de la fibra de celulosa. 40 g de paja fueron tratados con hidróxido de sodio (NaOH, Meyer) al 10 % para eliminar ceras, pectinas y resinas. La cocción se realizó en un vaso precipitado de 1000 mL y se colocó en una plancha caliente. Una vez que se observó la primera burbuja se dejó calentar por 10 min a 90 °C, y posteriormente se dejó en reposo por 20 minutos para enfriar y lavar con agua corriente; después se enjuagó con agua purificada (pH 7) para posteriormente desfibrar manualmente. En seguida se secó en una estufa de aire forzado a 65 °C y se dejó reposar 12 h. Todo el proceso se realizó por duplicado para contar con suficiente fibra de celulosa para la etapa posterior.

Blanqueo. 20 g de fibra de celulosa se sometieron a una hidrólisis ácida con H₂SO₄ JT Barker al 0.4 %. Una vez que hirvió la solución se procedió a contar 1 h; terminado el tiempo de reacción se dejó reposar 10 minutos para enfriar y se lavó con agua purificada hasta llegar a un pH de 7. Luego se llevó a cabo una cloración con NaClO₂ al 3.5 %. En seguida se realizó en baño María en una plancha a 95 °C. Posteriormente se realizaron lavados con agua purificada hasta llegar a un pH neutro, una extracción alcalina con NaOH al 20 % con agitación constante en un agitador magnético por 1 h, seguido de lavados con agua purificada, hasta llegar a un pH de 7 y un blanqueo con NaClO₂ al 0.5 % homogeneizando la muestra con un agitador magnético en un lapso de una hora. Se realizaron lavados hasta un pH neutro e inmediatamente se desmenuzó y colocó en charolas de fondo plano. La mezcla se dejó reposar por 24 h al ambiente y luego se realizó un secado en estufa de aire forzado a 65 °C por 24 h. Por último, se registró el peso seco de la muestra obtenida (g).

Método artesanal. Los pasos uno y dos del método a la sosa se repitieron utilizando reactivos grado industrial y agua corriente, a lo que se llamó proceso artesanal, ya que estos reactivos pueden ser adquiridos localmente y son de bajo costo.

Contenido de celulosa. Se refiere a la cantidad de pulpa de celulosa extraída de las muestras de paja.

Rendimiento de fibra de celulosa. Se refiere al porcentaje de fibra recuperada después de la extracción con hidróxido de sodio y para su cálculo se utilizó la siguiente ecuación Ec. (1):

$$\text{Rendimiento de fibra de celulosa \%} = (X / P)100$$

Donde X es la cantidad de fibra de celulosa (g), y P=80 g de paja seca, ya que se duplicó este procedimiento.

Rendimiento de pulpa de celulosa. Se refiere al porcentaje de pulpa de celulosa recuperada después del blanqueo; para su cálculo se utilizó la siguiente ecuación Ec. (2):

$$\text{Rendimiento celulosa (\%)} = (C / Z)100$$

Donde C es la cantidad de pulpa de celulosa extraída (g), y Z=20 g de fibra de celulosa.

Caracterización de la pulpa de celulosa. Se evaluó a través de tres parámetros:

Pureza. La caracterización química de las muestras de paja y celulosa se realizó en la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco-Unidad Cunduacán, utilizando la técnica de espectroscopía de infrarrojo con transformada de Fourier (Coates, 2000). Se empleó un Espectrómetro de infrarrojo FTIR Nicolet Magna Protegé 460 en el modo de transmisión, con una resolución de 4 cm^{-1} y 100 barrido.

Cristalinidad. La determinación de la cristalinidad se realizó en el laboratorio central del CINVESTAV, IPN Unidad-Mérida, usando la técnica de difracción de rayos-X método de absorbancia, utilizando un equipo Bruker 08 Advance espectro de $\text{CuK}\alpha$ ($\alpha=1.54 \text{ \AA}$). El porcentaje de cristalinidad de las muestras de paja y de la celulosa obtenida se calculó por el modelo desarrollado por Segal *et al.* (1959). Ec. (3):

$$Xc\% = 100[1 - (I_1 / I_2)]$$

Donde Xc% es el porcentaje de cristalinidad, I_1 es la intensidad del pico mínimo e I_2 es la intensidad máxima del pico cristalino, respectivamente. El tamaño del cris-

tal se calculó usando la ecuación de Scherrer (Cullity, 1978). Ec. (4):

$$t = 0.9\lambda / \beta \cos \theta$$

Donde t es el tamaño de cristal, λ es la longitud de onda de la radiación utilizada (λCu), β es el ancho a la altura media del pico de difracción de la muestra, θ es la posición del pico de difracción y 0.9 es el factor de forma del cristal.

Para las variables fibra de celulosa, rendimiento fibra de celulosa, pulpa de celulosa y rendimiento de pulpa de celulosa se realizó el análisis de varianza con el diseño completamente al azar y la prueba de comparación múltiple de medias de Tukey (con $\alpha=0.05$), usando el paquete SAS versión 9.3.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Fibra de celulosa. La extracción de la paja por los dos métodos no presentó diferencia significativa (Cuadro 1). La media de fibra de celulosa fue 31.6 g y 3.9 % de coeficiente de variación (CV) de que indica buena precisión en la determinación de este parámetro; por lo tanto, la calidad del NaOH no afectó la cantidad de fibra de celulosa ni el rendimiento. La media de recuperación de la fibra de celulosa con ambos métodos fue de 39.5 %. Lo anterior indica que por cada tonelada de paja se obtienen 395 kg de fibra de celulosa, la cual podría usarse para elaborar diversos tipos de papel.

Pulpa de celulosa. Se observó diferencia significativa entre los dos métodos para extraer celulosa (Cuadro 1). Con el método a la sosa se obtuvo la mayor cantidad de pulpa de celulosa, 1.39 g más en comparación con el método artesanal. Una posible explicación a este he-

Cuadro 1. Fibra y pulpa de celulosa extraída de la paja de *Saccharum* spp., a través de dos métodos.

Método de extracción	Fibra de celulosa (g)	Rendimiento fibra de celulosa (%)	Pulpa de celulosa (g)	Rendimiento de pulpa de celulosa (%)
A la sosa	31.79 a [¥]	39.74 a	10.02 a	50.12 a
Artesanal	31.46 a	39.33 a	8.63 b	43.16 b
Media (g):	31.6	39.5	9.3	46.6
CV (%)	3.9	3.9	4.2	4.2
Prob. F	0.53 NS	0.53 NS	0.0001**	0.0001**
DMS	1.12	1.4	0.35	1.79

[¥] Medias con letras distintas dentro de la columna son estadísticamente diferentes (Tukey; $P \leq 0.05$). NS=No significativo.

** Altamente significativo.

cho fue el menor ataque del ácido sulfúrico e hidróxido de sodio grado reactivo del método a la sosa, cuya pulpa de celulosa se caracterizó por su color blanco y consistencia suave (Figura 1). Con el método artesanal el proceso de blanqueo obtuvo una pulpa de celulosa de color amarillo y de consistencia dura al tacto. El método a la sosa superó en rendimiento al método artesanal en 6.96 % (Cuadro 1).

La caracterización de la pulpa de celulosa se realizó a través de tres parámetros: la pureza, cristalinidad y tamaño de cristal.

Pureza. En el análisis de los interferogramas IR (Figura 2 y 3) se registraron diferencias entre el espectro de infrarrojo de las muestras de paja y la pulpa de celulosa de la variedad Mex 79-431. En la Figura 2 la celulosa muestra un pico de 3450 cm^{-1} , el cual se debió a las vibraciones de estiramiento características de los enlaces O-H presentes en la celulosa, hemicelulosa y lignina, tal como lo señalan Moran *et al.* (2008). La intensidad de la banda 2890 cm^{-1} es atribuida a los enlaces C-H, pertenecientes a alquílicos y alifáticos presentes en celulosa, hemicelulosa y lignina (Moran *et al.*, 2008). El pico de 1730 cm^{-1} se relaciona con los enlaces C=O de cetona (pectinas y gomas) presentes en la hemicelulosa, corroborando lo observado por Popescu *et al.* (2010), mientras el pico de 1610 cm^{-1} es asignado al enlace C=C de las vibraciones de estiramiento de los anillos aromáticos de la lignina (Moran *et al.*, 2008; Coates, 2000). El pico 1420 cm^{-1} corresponde a vibraciones de enlace C-H del CH_2 . La banda 1090 cm^{-1} es atribuida a las vibraciones de flexión de los enlaces C-H de los anillos aromáticos (Coates, 2000) y, por último, la banda a 899 cm^{-1} correspondió al enlace C-H de los grupos aromáticos de la lignina (Morán *et al.*, 2008). Lo anterior reafirma la idea de que la paja de caña contiene celulosa, hemicelulosa y lignina (Szczerbowski *et al.*, 2014). La Figura 3 muestra el espectro de infrarrojo de la muestra de pulpa de celulosa

extraída por el método a la sosa. Se observa una banda a 3480 cm^{-1} , la cual es debida a las vibraciones de estiramiento características de los enlaces O-H presentes en la celulosa (Morán *et al.*, 2008; Coates, 2000). La intensidad del pico 2890 cm^{-1} es atribuida a los enlaces H-C-H presentes en la celulosa (Morán *et al.*, 2008). No se observó la banda a 1730 cm^{-1} correspondiente a grupos C=O presentes en hemicelulosas y lignina, ya que fueron eliminadas con el tratamiento, obteniendo celulosa más pura.

El pico 1670 cm^{-1} se relaciona con los enlaces O-H del agua adsorbida a la fibra en la celulosa (Moran *et al.*, 2008), mientras el pico 1380 cm^{-1} es asignado al enlace C-H de vibraciones de flexión presentes en la celulosa. El pico observado de 1060 cm^{-1} es atribuido a las vibraciones de flexión de los enlaces C-O-C presentes en la celulosa (Coates, 2000) y, finalmente, el pico 895 cm^{-1} corresponde a las vibraciones de deformación de C-H, presentes en celulosa, y corrobora lo reportado por Popescu *et al.* (2010). Este análisis permite concluir que la celulosa extraída de la paja de caña es pura y de similar pureza a la extraída del bagazo de caña (López-Martínez *et al.*, 2016).

Cristalinidad. Los difractogramas de la muestra de paja y celulosa extraída con el método a la sosa y artesanal se muestran en la Figura 4. Los picos cercanos a $2\theta=22.3^\circ$ es de celulosa, así como los picos a $2\theta=12.6^\circ$, 20.6° y 35.3° de la celulosa extraída con el método artesanal, son picos característicos correspondientes a la estructura de la celulosa (Visakh y Thomas, 2010; Isogai *et al.*, 1989).

La cristalinidad de la celulosa de la paja de caña (PA) fue de 56.07 %, similar a 56.4 % de cristalinidad de la

paja de trigo reportada por Tomás (2009) y mayor a 41 % del bagazo de caña reportado por López-Martínez *et al.* (2016). El tamaño promedio de los cristales de celulosa fue de 2.7 nm (27 Å), como se observa en el Cuadro 2. La cristalinidad de la celulosa fue

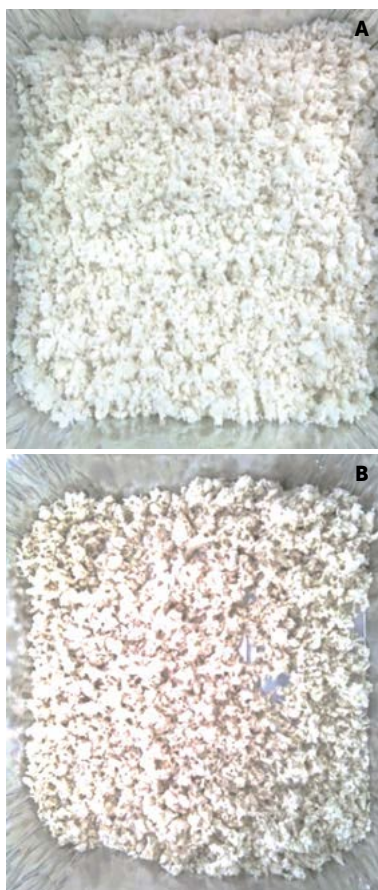


Figura 1. Detalles de la celulosa extraída de la paja de *Saccharum* spp. A: Celulosa con método a la sosa. B: Celulosa con método artesanal.



Figura 2. Interferograma de la muestra de paja, donde los picos muestran los componentes de celulosa, hemicelulosa y lignina.

74.78 % extraída con el método a la sosa y 64.24 % por el artesanal (Cuadro 3). Lo anterior indica que los métodos de extracción son apropiados para eliminar la hemicelulosa y la lignina. La cristalinidad de la celulosa de paja es mayor al observado en la celulosa hidrolizada proveniente del Ramio (*Boehmeria nivea*), la cual posee una fracción cristalina de entre 60 % a 70 % (Gauthier *et al.*, 1998) y 55 % de cristalinidad para la celulosa extraída del bagazo (López-Martínez *et al.*, 2016). La naturaleza cristalina de los cristales no solo está influenciada por la conformación de las cadenas, sino también por el empaquetamiento de las cadenas adyacentes. Los cristales son cadenas de celulosa pura con arreglos de las cadenas de glucosa que difieren a los de la celulosa (Lu y Hsieh, 2010). Las muestras de celulosa presentaron un patrón correspondiente a celulosa tipo I, comúnmente encontrada en las fibras vegetales naturales (Isogai *et al.*, 1989), específicamente celulosa tipo I β estable con cristales monoclinicos. Este tipo de celulosa puede ser usada para diversos materiales en las industrias farmacéutica y alimenticia.

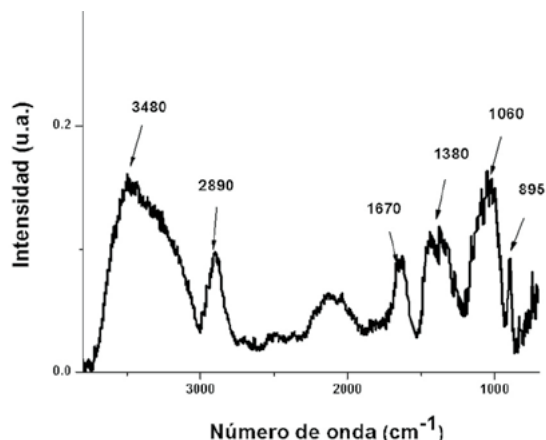


Figura 3. Interferograma de la muestra de pulpa de celulosa, donde los picos indican el contenido de celulosa.

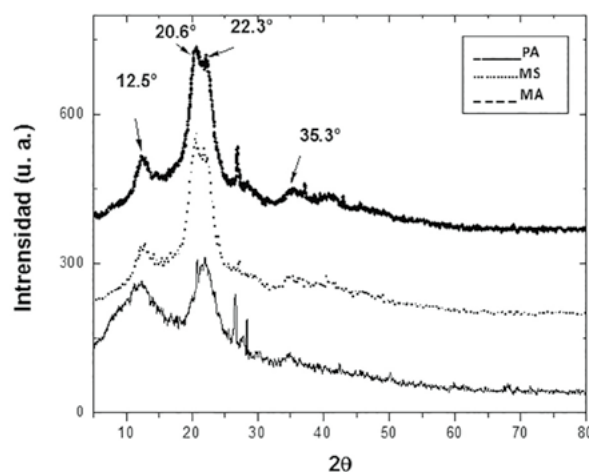


Figura 4. Difractogramas de las muestras de paja de caña (PA), pulpa de celulosa extraída con el método a la sosa (MS), pulpa de celulosa extraída con el método artesanal (MA).

Tamaño de cristal. El tamaño promedio de cristales de la celulosa fue similar con ambos métodos de extracción (Cuadro 3), con una media de 2.2 nm (22 Å). Esto

Cuadro 2. Características de la paja de *Saccharum* spp.

Características	Valores
FWHM (°)¥	3.086
2-Theta (°)	21.96
Área cristalina(°)	357
Área total (°)	636.7
Porcentaje de cristalinidad	56.07 %
Tamaño de cristales	27 Å o 2.7 nm

¥ Ancho a la altura media del pico de difracción de la muestra de paja.

Cuadro 3. Características de la pulpa de celulosa extraída de la paja de *Saccharum* spp.

Características	Pulpa de celulosa método a la sosa	Pulpa de celulosa método artesanal
FWHM (°)¥	3.726	3.82
2-Theta(°)	20.6	20.66
Área cristalina(°)	629	637
Área total(°)	841.1	991.5
Porcentaje de cristalinidad	74.78 %	64.24
Tamaño de cristales	22 Å o 2.2 nm	22 Å o 2.2 nm

¥ Ancho a la altura media del pico de difracción de las muestras de celulosa.

indica que se reduce el tamaño del cristal de celulosa al extraerla, lo cual coincide con lo observado por Hernández (2014) al reportar que los cristales de celulosa pueden aumentar o disminuir por el efecto de los factores que afectan la cristalinidad (fuente, método de extracción y tratamientos posteriores a su extracción).

CONCLUSIONES

Con ambos métodos (a la sosa y artesanal) se extrajo igual cantidad de fibra de celulosa de la paja de caña, con un rendimiento de 39.5%. El blanqueo con el método artesanal extrajo menor cantidad de celulosa en comparación del método a la sosa. A pesar del rendimiento menos eficiente, el método artesanal debe conservarse, ya que resulta más económico por los reactivos de uso industrial. La celulosa se caracteriza por su pureza, cristalinidad y tamaño de granulo, lo que refleja su potencial para elaborar biomateriales.

AGRADECIMIENTOS

Al grupo MASCAÑA del Colegio de Postgraduados Campus Tabasco por el apoyo económico y las facilidades para realizar el presente trabajo en el Laboratorio Central.

LITERATURA CITADA

- Unión Nacional de Cañeros, A.C.-CNPR 2016. Estadísticas de la Agroindustria de la Caña de Azúcar 2004-2013. Consolidado Nacional e Ingenio Benito Juárez. Consultado el 11 de Noviembre de 2016 en: http://www.caneros.org.mx/site_caneros/estadisticas/nacional.pdf
- Cazaurang M., Peraza S. y Cruz R. 1990. Dissolving grade pulps from henequen fiber. *Cellulose Chemistry and Technology*. 24: 629-638.
- Coates J. John Wiley&Sons Ltd, Chicester 2000. Interpretation of infrared spectra, a practical approach. *Encyclopedia of Analytical Chemistry*. R. A. Meyers (Ed.). pp. 10815-10837.
- Cortínez V., V. A. 2010. Comparación de pretratamientos en residuos forestales para la producción de bioetanol de segunda generación: hidrólisis ácida y líquidos iónicos. Tesis de MC, Universidad de Chile. Santiago de Chile. 122 p.
- Costa S.M., Mazzola P.G., Silva J.C.A.R., Pahle R., Pessoa, A.Jr. y Costa S. A. 2013. El uso de paja de la caña de azúcar como fuente de fibra de celulosa para la producción de textiles. *Cultivos y Productos Industriales*. 42: 189-194.
- Cullity B.D. 1978. Elements of X-Ray Diffraction, second edition, Addison- Wesley, New York. Falta Gauthier et al 1988.
- Hernández C.B.I. (2014). Obtención y caracterización físicoquímica de celulosa a partir del fruto de la especie *Ceiba pentandra* (L.) Gaertn kapok. Tesis profesional. Universidad Popular de la Chontalpa. México.
- Isogai A., Makoto U., Kato T., Uryu T. y Atalla R. 1989. Solid-State CO/MAS 13Cnmr Study of Cellulose Polymorphs. *Macromolecules*. 22: 3168-3172.
- León-Martínez T.S., Dopico-Ramírez D., Triana-Hernández O. y Medina-Estévez M. 2013. Paja de la caña de azúcar. Sus usos en la actualidad ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar. 47: 13-22.
- López-Martínez A., Bolio-López G.I., Veleza L., Solórzano V.M., Acosta T.G., Hernández V.M.M, Salgado G.S. y Córdova S.S. 2016. Obtención de celulosa a partir de bagazo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.): Aislamiento y caracterización. *Agroproductividad*. 9(7):1-12.
- Lu P., Hsieh Y.L. 2010. Preparation and properties of cellulose nanocrystals: Rods, spheres, and network. *Carbohydrate Polymers*. 82: 329-336.
- Maya J., Sabu T. 2008. Biofibres and biocomposites *In*: Carbohydrates polymers 71: 343-364.
- Morán J.I., Vera A., Cyran V.P., Vázquez A. 2008. Extraction of cellulose and preparation of nanocellulose from sisal fibers. *Cellulose*. 15: 149-159.
- Popescu C.M., Popescu M.C., Vasile C. 2010. Structural changes in biodegraded lime Wood. *Carbohydrate Polymers journal*. 79: 362-372.
- Salgado-García S., Aranda-Ibañez E.M, Castelán-Estrada M., Ortiz-Laurel H., Palma-López D.J., Córdova-Sánchez S. 2014. Qué hacer con la paja de la cosecha mecanizada de la caña de azúcar. *Agroproductividad*. 7: 5-10.
- Segal L., Creely J., Martin A., Conrad C. 1959. An empirical method for estimating the degree of crystallinity of native cellulose using the X-ray diffractometer, *Textile Research J*. 786-794.
- Szczerbowski C., Pitarelob A.P., Zandoná A.Jr., Ramos L.P. 2014. Sugarcane biomass for biorefineries: Comparative composition of carbohydrate and non-carbohydrate components of bagasse and Straw. *Carbohydrate Polymers*. 114: 95-101.
- Visakh P. M., Thomas S. 2010. Preparation of Bionanomaterials and their Polymer Nanocomposites from Waste and Biomass. *Waste Biomass*. 1: 121-134.

