

## AISLAMIENTO Y CARACTERIZACIÓN DE NANOCELULOSA A PARTIR DE DISTINTOS RESIDUOS AGROINDUSTRIALES

### ISOLATION AND CHARACTERIZATION OF NANOCELLULOSE FROM DIFFERENT AGROINDUSTRIAL WASTES

Hernández-Leal R.<sup>1</sup>, Brachetti-Sibaja S.B.<sup>1</sup>, Torres-Huerta A.M.<sup>2</sup>, Domínguez-Crespo M.A.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> TecNM- IT de Cd. Madero, Av. 1º de Mayo esq. Sor Juana Inés de la Cruz s/n Col. Los Mangos, C.P. 89440, Cd. Madero, Tam., México

<sup>2</sup> instituto Politécnico Nacional, UPIIH-Hidalgo, San Agustín Tlaxiaca, Hidalgo, C.P 42162, México  
aimitohuer@gmail.com, silvia.bs@cdmadero.tecnm.mx

#### RESUMEN

El aprovechamiento de biomasa obtenida de residuos lignocelulósicos permite disminuir el impacto ambiental ocasionado por la gran cantidad de remanentes desechados durante los diferentes procesos de las materias primas; estas biomásas residuales se pueden utilizar como fuente alterna y materia prima en la extracción de celulosa, polímero natural con características químicas atractivas, la cual contribuye a la creación de nuevos materiales. Su obtención a escala nanométrica permite mejorar sus propiedades y ser utilizada en áreas especializadas. En México se genera una gran variedad de residuos lignocelulósicos, entre los cuales se encuentran el pseudotallo de plátano (PTP), biomasa residual del corte del plátano, bagazo de *Aloe vera* (BAV),

residuo sobrante durante la extracción del gel y bagazo de caña de azúcar (BCA), desecho obtenido durante la producción de azúcar. En este trabajo se presenta el procedimiento para la extracción de nanocelulosa, utilizando biomasa de residuos agroindustriales, mediante un pretratamiento, lavado y secado, seguido de un proceso de extracción Soxhlet, para eliminar compuestos no deseados, un blanqueamiento y deslignificación. La nanocelulosa obtenida se caracterizó mediante espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier, (FTIR) para identificar los grupos funcionales característicos de estos residuos; difracción de rayos X (DRX), para estudiar su estructura cristalina y dispersión dinámica de luz (DLS), para determinar el tamaño del radio hidrodinámico de las partículas de nanocelulosa. Estas técnicas

permiten conocer la vulnerabilidad de las biomásas en los diferentes tratamientos químicos requeridos para la deslignificación, eliminación de componentes no deseados y extracción de cristales de nanocelulosa.

**Palabras clave:** residuos agroindustriales, biomasa, FTIR, lignina, nanocelulosa.

## ABSTRACT

The use of biomass obtained from lignocellulosic allows to reduce the environmental impact caused by the large amount of remnants discarded during the different processes of raw materials; These residual biomasses can be used as an alternative source and raw material in the extraction of cellulose, a natural polymer with attractive chemical characteristics, which contribute to the creation of new materials. Its obtaining on a nanometric scale allows to improve its properties and be used in specialized areas. In Mexico, a wide variety of lignocellulosic residues are generated, among which are the banana pseudo stem (PTP), residual biomass from the banana cut, aloe vera bagasse (BAV), leftover residue during the extraction of the gel and sugarcane bagasse (BCA), waste obtained during sugar production. This

paper presents the procedure for the extraction of nanocellulose, using biomass from agroindustrial residues, through pretreatment, washing and drying, followed by a Soxhlet extraction process, to remove unwanted compounds, bleaching and delignification. The nanocellulose obtained was characterized by Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) to identify the characteristic functional groups of these residues; X-ray diffraction (XRD) to study its crystal structure and dynamic light scattering (DLS), to determine the size of the hydrodynamic radius of nanocellulose particles. These techniques allow knowing the vulnerability of biomasses in the different chemical treatments required for delignification, elimination of unwanted components and extraction of nanocellulose crystals.

**Keywords:** Agroindustrial waste; biomass; FTIR; lignin, nanocelulosa.

## INTRODUCCIÓN

Actualmente la protección por el medio ambiente ha contribuido a utilizar desechos agrícolas e industriales para desarrollar nuevos y mejores materiales; el aprovechamiento de biomásas lignocelulósicas obtenidas de residuos

agroindustriales es una opción viable para extraer nanocelulosa [1], proporciona un uso adecuado de remanentes, los cuales en grandes proporciones incrementan los daños ambientales en las zonas cercanas donde son almacenados. Debido a las características funcionales de este polímero, es importante señalar que la extracción de celulosa de diferentes fuentes vegetales agroindustriales y sus métodos de extracción puede presentar variaciones en su morfología y grado de polimerización [2]. La celulosa presenta grupos OH reactivos, en dependencia del orden de las interacciones de los enlaces de hidrógeno, estos son responsables de la formación de estructuras cristalinas y amorfas, también, de la rigidez y estabilidad del biopolímero, tanto física como químicamente [3]. La nanocelulosa posee atractivas características [4], lo cual la convierte en materia prima para diversidad de industrias. En esta investigación se realizó la extracción, comparación y caracterización de nanocelulosa de tres residuos agroindustriales que se generan en México, bagazo de caña de azúcar (BCA), bagazo de *Aloe vera* (BAV) y pseudotallo de plátano (PTP), residuos atractivos

como materia prima para la extracción de celulosa y su conversión a nanocelulosa.

## METODOLOGÍA

La planta de *Aloe vera* se lava, se realiza un corte horizontal en la parte inferior de la hoja, se deja reposar por 10 horas para eliminar la aloína, se extrae el gel; el bagazo de *Aloe vera* residual, se tritura en licuadora convencional, se lava las veces necesarias para eliminar el gel residual y posteriormente, se seca a 90 °C durante un periodo de 24 horas. El pseudotallo de plátano (*Musa paradisiaca*), se lava y corta en cuadros pequeños, se tritura en una licuadora convencional y se seca a 105 °C por 24 horas. El bagazo de caña de azúcar se lava para eliminar la suciedad que pueda contener durante el proceso de molienda y posteriormente se seca a 90 °C durante 48 horas. Después del secado de los diferentes residuos, en un molino FOSS Cyclotec CT 293, son triturados para obtener biomásas con tamaños de partículas menores a 500 µm.

Durante el proceso de extracción de celulosa de las diferentes biomásas (BAV, PTP y BCA) se requiere un pretratamiento, para eliminar compuestos no deseados.

**Pretratamiento.** Durante este procedimiento se utiliza un equipo de extracción Soxhlet sólido-líquido, para extraer durante cada reflujo, grasas, azúcares residuales y vitaminas liposolubles, para esto se utiliza etanol/tolueno con una relación de 1:1 a 110 °C durante 8 horas, después, se lavan las fibras para eliminar los compuestos residuales y se secan a 60 °C.

**Deslignificación.** Durante el proceso de deslignificación, se pesan 3 gramos de fibra previamente tratadas, se vierten en una disolución de 100 mL de clorito de sodio al 2% en peso (Sigma Aldrich, 80% de pureza) y 1 mL de ácido acético glacial (Sigma Aldrich ,99.8% de pureza), a una temperatura de 60 °C, con un tiempo de reacción de 2 horas con agitación constante, durante este procedimiento se observa el cambio de coloración a blanco al cual se le denomina holocelulosa (mezcla de hemicelulosa y celulosa), estas fibras se lavan y secan, posteriormente se le agrega una disolución de NaOH al 10% en peso, con agitación constante durante un periodo de 3 horas, finalmente se filtra, lava hasta pH neutro y se seca a 60 °C.

**Extracción de nanocelulosa.** Para conocer el efecto de la temperatura en la extracción de nanocelulosa se realizó el proceso de hidrólisis ácida utilizando una disolución de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> con una concentración de 55% en peso, a 30 minutos, empleando temperaturas de 40, 45 y 50 °C. Adicionalmente se realizó una extracción de la nanocelulosa con los siguientes parámetros H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 65% en peso, 15 minutos con una temperatura de 25, esto debido a que las condiciones de tiempo superior con una temperatura de 40°C se observan que la muestra es degradada

A 1.5 g de celulosa anteriormente extraída, se le agrega 100 mL de la disolución de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (JT Baker, 98.3% de pureza), con agitación constante durante un periodo de tiempo de 30 minutos, a una temperatura 40,45 o 50 °C.

La nanocelulosa hidrolizada, se centrifuga a 5000 rpm, durante 20 min en dos ciclos, se elimina el sobrenadante y se vierte en una membrana de diálisis, para garantizar la eliminación de partículas residuales de la hidrólisis ácida, durante este proceso se controla el pH que sea estable y cercano a 7.

## RESULTADOS Y DISCUSION

La extracción de nanocelulosa, se realizó con la concentración de 55% en peso de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, a 30 minutos de reacción, utilizando diferentes temperaturas (40, 45 y 50 °C), adicionalmente se reporta utilizando 65% en peso de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> con 15 minutos de reacción a 25°C para la obtención de nanocelulosa. Se caracteriza con FTIR para conocer su estructura química, DRX para estudiar su estructura cristalográfica y DLS para conocer el tamaño de las nanopartículas de nanocelulosa.

### **Espectroscopía infrarroja con transformada de Fourier (FTIR).**

Mediante este análisis, se identificaron los grupos funcionales de las diferentes biomásas obtenidas de residuos agroindustriales, en la **Figura 1**, se observan los espectros de los tratamientos para la obtención de nanocelulosa, comparada con la fibra sin tratamiento y se identifica que sus principales constituyentes son: celulosa, hemicelulosa y lignina, se observan dos regiones de señales de absorción, con ligeros desplazamientos en cada una de las biomásas, la primera en longitudes de onda desde 3500 cm<sup>-1</sup> a 2800 cm<sup>-1</sup> y la

segunda, entre 1750 cm<sup>-1</sup> a 500 cm<sup>-1</sup>.(Tabla 1).[5–11].

En la **figura 1 a, b y c** se observan cuatro bandas en el intervalo de 3700 a 2976 cm<sup>-1</sup> atribuidas a la vibración de estiramiento grupos OH de las moléculas de agua y celulosa, en las señales de, 2917 cm<sup>-1</sup> que corresponden a estiramientos asimétricos y 2841 cm<sup>-1</sup>, a estiramientos de tipo simétricos de los grupos CH, característicos de las fibras lignocelulósicas obtenidas de biomásas de residuos agroindustriales [13].

La segunda región presentan variación en la intensidad de bandas para las diferentes biomásas obtenidas de residuos agroindustriales; en 1730 cm<sup>-1</sup> se atribuye a los grupos C-O y C=O de los grupos ésteres acetílicos y urónicos de los polisacáridos de la lignina y hemicelulosa pertenecientes a la pectina, la hemicelulosa o a los ésteres y enlaces carboxilo de la lignina, así como una correlación de los ácidos p-cumárico de estiramiento simétrico del C=C del anillo aromático presente en la lignina, en BCA se presenta con menor intensidad; sin embargo, dentro del espectro de PTP y BAV se pueden observar con mayor

**Tabla 1.** Asignación de grupos funcionales en las bandas de absorción de los espectros de FTIR de la biomasa obtenida de residuos agroindustriales.

Núm. de onda cm <sup>-1</sup>	Asignación de grupo funcional.	Biomasa		
		BAV	BCA	PTP
3329	Vibración de estiramiento del OH enlace intermolecular del hidrógeno de agua y de la celulosa. <sup>3,7</sup>	*	*	*
2976	Estiramiento de CH en grupos CH <sub>3</sub> y CH <sub>2</sub> <sup>3</sup>	*	*	*
2917	Estiramiento asimétrico de CH <sub>2</sub> en la celulosa <sup>7</sup>	*	*	*
2841	Estiramiento simétrico del CH <sub>2</sub> en celulosa <sup>7</sup>	*	*	*
1730	C-O y C=O de los grupos ésteres acetílicos y urónicos pertenecientes a la pectina, la hemicelulosa o a los ésteres y enlaces carboxilo de la lignina. <sup>3,4,6</sup>	*	*	
1602	vibración de estiramiento simétrico del C=C aromático o anillo aromático presente en la lignina <sup>3,6</sup>	*	*	*
1510	Estiramiento de C=C y C=O de anillos aromáticos en la lignina <sup>2,3,4</sup>		*	
1465	Flexión asimétrica de CH <sub>2</sub> y CH <sub>3</sub> en hemicelulosa <sup>2</sup>		*	
1427	grupo CH <sub>2</sub> asimétrico presentes en la zona amorfa de celulosa I <sup>2,4,6</sup>	*	*	
1377	vibraciones de flexión de los grupos de CO y CH <sub>3</sub> correspondiente a la zona amorfa de la celulosa <sup>2,6</sup>	*	*	*
1310-1314	Vibración de CH <sub>2</sub> de la celulosa <sup>5,6</sup>	*	*	*
1258	vibración de C-O en anillo guayacol perteneciente a la lignina <sup>1,2,3,4</sup>	*	*	
1160	estiramiento asimétrico y simétrico de C-O-C en celulosa y hemicelulosa <sup>2,3,7</sup>	*	*	*
1108	vibraciones de estiramiento de C-O-C de enlaces glicosídicos de xilanos presentes en la lignina <sup>2</sup>	*	*	*
1033-1020	vibraciones de C-O en grupo éster en metoxilos y enlaces β-O-4 en unidades de guayacol perteneciente a la lignina <sup>1,3</sup>	*	*	*
949	Deformación del OH fuera del plano de los ácidos carboxílicos <sup>2</sup>	*		
900-897	vibración y estiramiento de C-O-C y CH en enlaces β- (1-4) glicosídicos en celulosa. <sup>2,3,7</sup>	*	*	*
826	flexión de CH fuera del plano de unidades de guayacol en lignina <sup>2</sup>	*	*	*
782	Estiramiento C-C del anillo de piranosa perteneciente a la lignina <sup>2</sup>	*	*	*
670	Estiramiento de C-O-H <sup>2</sup>	*	*	*

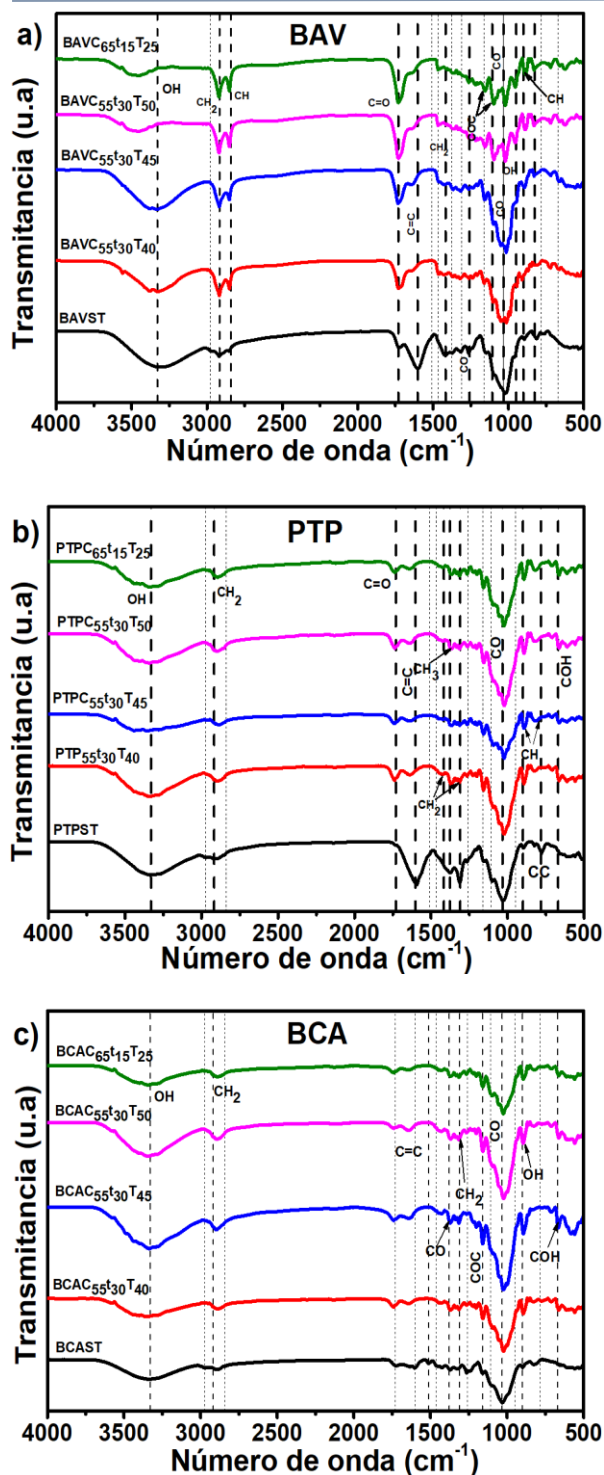
<sup>1</sup>Alimohammadzadeh *et al.*, 2022; <sup>2</sup>Cárdenas *et al.*, 2020; <sup>3</sup>Gonultas *et al.*, 2018; <sup>4</sup>Macias *et al.*, 2020; <sup>5</sup>Ng L *et al.*, 2021; <sup>6</sup>Shrestha *et al.*, 2021; <sup>7</sup>Wahib *et al.*, 2022

intensidad, BCA presenta 2 señales que no se encuentran en BAV y PTP, en la señal de  $1510\text{ cm}^{-1}$  de esta biomasa, corresponde al estiramiento de C=C de anillos aromáticos presentes en la lignina y la señal presente en el intervalo de  $1465\text{ cm}^{-1}$  corresponde a la flexión asimétrica de  $\text{CH}_2$  y  $\text{CH}_3$  de la hemicelulosa, el grupo  $\text{CH}_2$  asimétrico presente en la zona amorfa de celulosa I, se localiza en la banda de absorción de  $1417\text{ cm}^{-1}$  [15] en las biomásas BAV y BCA, la banda en la señal de absorción a  $1377\text{ cm}^{-1}$  corresponde a las vibraciones de flexión de los grupos de CO y  $\text{CH}_3$  correspondiente a la zona amorfa de la celulosa presente en las tres fibras donde se puede observar con mayor intensidad en la fibra PTP, las señales en las bandas de absorción de  $1310\text{ cm}^{-1}$  con ligeros desplazamientos a  $1314\text{ cm}^{-1}$  se observa en las tres fibras, con mayor intensidad en PTP y se debe a las vibraciones de  $\text{CH}_2$  de la celulosa, las señales de  $1258$  y  $1245\text{ cm}^{-1}$  pertenecen a la vibración de C-O en anillo guayacol perteneciente a la lignina presentes en BAV y BCA, las bandas de absorción en alrededor de  $1160$  y  $1108\text{ cm}^{-1}$  [16], [17] presentan vibraciones de estiramiento asimétrico de C-O-C en la asociación de las bandas de las moléculas

de absorción de la celulosa y hemicelulosa; También se superpone y se correlaciona con la sulfonación de la celulosa, que se forma durante el proceso de hidrólisis ácida [18], [19]. las bandas de mayor intensidad en los espectros de las 3 fibras presentan señales en intervalos de  $1033$  a  $1020\text{ cm}^{-1}$  las cuales se atribuyen a las vibraciones de C-O en grupo éster en metoxilos y enlaces  $\beta(1\rightarrow4)$  en unidades de guayacol que corresponden a la lignina, la señal presente en  $949\text{ cm}^{-1}$  de la fibra de BAV es una deformación del OH fuera del plano de los ácidos carboxílicos, las señales de las 3 biomásas obtenidas de residuos agroindustriales en los intervalos de  $900$ - $897\text{ cm}^{-1}$  corresponde a la vibración y estiramiento de C-O-C en celulosa.

La banda de absorción en  $826\text{ cm}^{-1}$  es una flexión de CH fuera del plano de unidades de guayacol en lignina, la señal  $782\text{ cm}^{-1}$  presenta vibración de estiramiento C-C del anillo de piranosa perteneciente a la lignina señal en el espectro de PTP.

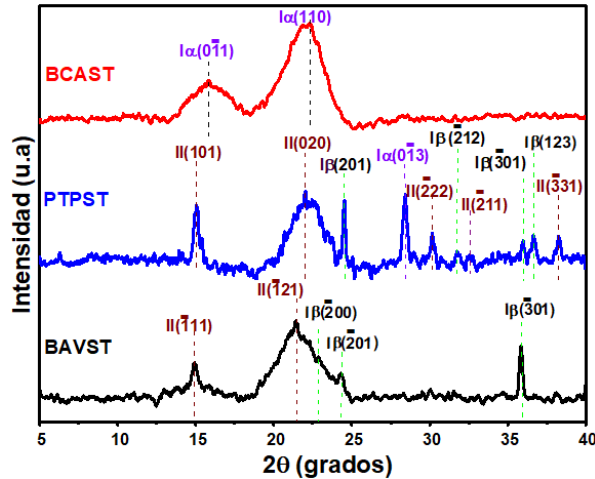
**Difracción de rayos X (DRX).** Mediante análisis de DRX se analizaron los planos cristalinos de los residuos agroindustriales de bagazo de caña de azúcar, pseudotallo



**Figura 1.** Espectros de FTIR de las biomásas de residuos agroindustriales, y nanocelulosa obtenida a diferentes parámetros a) bagazo de aloe vera, b) pseudotallo de plátano y c) bagazo de caña de azúcar.

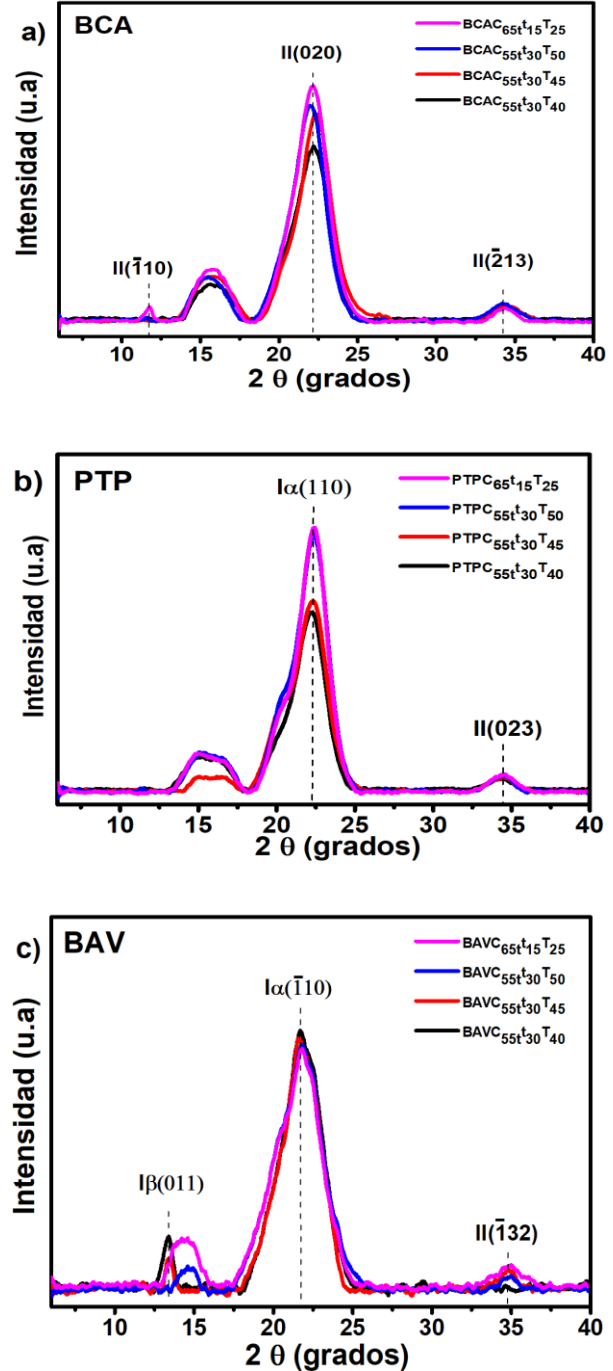
de plátano y bagazo de *Aloe vera*, se analizó la biomasa de estos residuos sin tratamiento y la nanocelulosa obtenida, la celulosa presenta polimorfos, los cuales fueron identificados con las cartas cristalográficas PDF#00-56-1719, 00561718 y 00-561717, para celulosa I alfa, beta y celulosa II. En la **Figura 2** se pueden observar las biomásas obtenidas de los residuos agroindustriales sin tratamientos, en BCA se observa la presencia de únicamente celulosas alfa, con los planos (0-11) y (110) correspondiente a los ángulos  $2\theta$  de 15.81 y 22.34, respectivamente. Para el PTP, corresponde a una mezcla de celulosa I alfa, en el plano (0-13) en el ángulos  $2\theta$  de 28.24, celulosa I beta en los planos (201),  $(\bar{2}12)$ ,  $(\bar{3}01)$  y (123) de los ángulos  $2\theta$  de 24.54, 31.81, 35.97, 36.68 y celulosa II en los planos (101), (020),  $(\bar{2}22)$ ,  $(\bar{2}11)$  y  $(\bar{3}31)$  perteneciente a los ángulos  $2\theta$  15.08, 22.00, 30.16, 32.53 y 38.28. En el Difractograma de BAV, corresponde a una mezcla de celulosa I beta, en los planos  $(\bar{2}00)$ ,  $(\bar{2}01)$  y  $(\bar{3}01)$  en los ángulos  $2\theta$  de 22.91, 24.34, 35.85 y celulosa II, en los planos  $(\bar{1}11)$  y  $(\bar{1}21)$  en los ángulos  $2\theta$  de 14.92 y 21.45 respectivamente.





**Figura 2.** Difractograma de biomasa de residuos agroindustriales sin tratamientos.

La nanocelulosa obtenida después de los tratamientos, también fue identificada con las cartas cristalográficas anteriormente mencionadas, se pueden observar los siguientes cambios de polimorfos de celulosa en cada una de las biomazas; en bagazo de caña de azúcar (**Figura 3a**), se observa el cambio de polimorfo de I alfa a celulosa II en los planos  $(\bar{1}10)$ ,  $(020)$  y  $(\bar{2}13)$  en los ángulos  $2\theta$  de 11.73, 22.10 y 34.35, la intensidad de estos planos aumenta con la temperatura y la concentración, además el plano  $(\bar{1}10)$  solo se observa en la concentración del 65% de  $H_2SO_4$ ; en pseudo tallo de plátano (**Figura 3b**), hubo un cambio en el espectro de mayor



**Figura 3.** Difractograma de nanocelulosa de residuos agroindustriales.

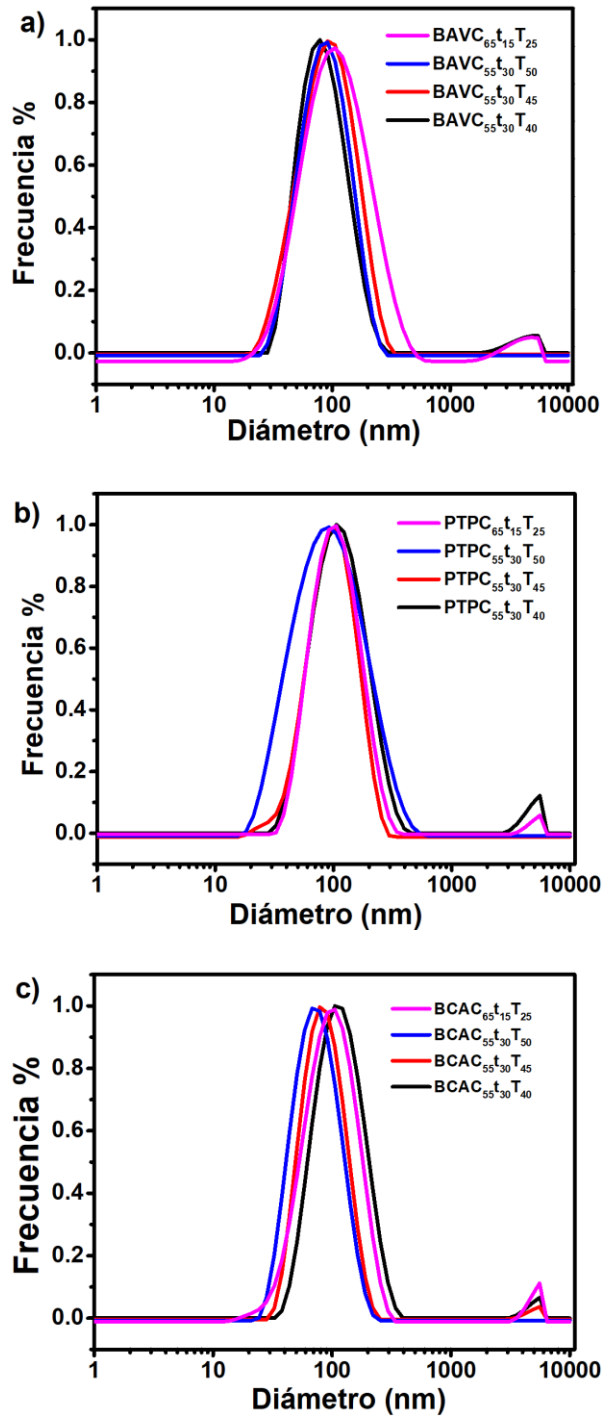
intensidad del polimorfo de celulosa II a celulosa I alfa en el plano (110) del ángulo  $2\theta$  de 22.32, también se observa celulosa II en el plano (023) en el ángulo  $2\theta$  de 34.41, la intensidad en estas señales de los planos antes mencionados, aumentan con la temperatura y concentración; en la nanocelulosa extraída de bagazo de *Aloe vera* (**Figura 3c**), se observan los polimorfos celulosa I alfa, celulosa I beta y celulosa II, el cambio de celulosa II a celulosa I en el plano ( $\bar{1}10$ ) del ángulo  $2\theta$  de 21.69 se observa que al aumentar la temperatura y concentración de  $H_2SO_4$  esta señal disminuye paulatinamente, la celulosa I beta del plano (011) del ángulo  $2\theta$  13.38 solo se observa en BAVC<sub>55t30</sub>T<sub>40</sub> y celulosa II en el plano ( $\bar{1}32$ ) del ángulo  $2\theta$  34.68.

**Dispersión dinámica de luz (DLS).** Esta técnica permite obtener un promedio del diámetro del radio hidrodinámico de las partículas de nanocelulosa extraídas de las biomásas obtenidas de residuos agroindustriales. Después del proceso de diálisis para eliminar el  $H_2SO_4$  de la nanocelulosa, se toman 100  $\mu$ L de una muestra y se diluyen en 10 mL de agua, posteriormente se realizan tres diluciones más utilizando 1  $\mu$ L de cada dilución y con ayuda de un baño ultrasónico la dilución

final es dispersada durante un tiempo de 60 minutos, para su posterior análisis. Esta dilución es el medio para evaluar el comportamiento de la nanocelulosa mediante el movimiento browniano. En la **Tabla 2** se observa el diámetro hidrodinámico promedio de la nanocelulosa extraída de las diferentes biomásas obtenidas de residuos agroindustriales, con las diferentes concentraciones y temperaturas. En PTP y BCA, se puede observar que en la concentración del 55% de  $H_2SO_4$  conforme la temperatura aumenta el radio hidrodinámico de la nanocelulosa disminuye y en la concentración de 65%  $H_2SO_4$ , el diámetro es de 95.26 nm para PTP y 91.95 nm en BCA, BAV no muestra cambios significativos en el radio hidrodinámico obtenido de la concentración de 55% de  $H_2SO_4$ , pero en la concentración del 65% de  $H_2SO_4$  el promedio del radio hidrodinámico encontrado aumenta hasta 94.14 nm.

**Tabla 2.** Diámetro hidrodinámico promedio de la nanocelulosa obtenida de las diferentes biomásas.

MUESTRA	Diámetro (nm)		
	BAV	PTP	BCA
C <sub>55t30</sub> T <sub>40</sub>	77.56	104.80	107.2
C <sub>55t30</sub> T <sub>45</sub>	79.02	86.00	78.73
C <sub>55t30</sub> T <sub>50</sub>	78.08	74.87	67.23
C <sub>65t15</sub> T <sub>25</sub>	94.14	95.26	91.95



**Figura 4.** Dispersión de nanocelulosa, a) bagazo de *Aloe vera*, b) pseudotallo de plátano c) bagazo de caña de azúcar.

Es importante señalar que esta técnica mide el radio hidrodinámico de partículas

esféricas, la nanocelulosa se encuentra en forma de aguja, por lo que estos resultados se toman solo como referencia, además durante el proceso de preparación de diluciones y dispersión de las partículas en baño ultrasónico puede presentar ineficiencia, surgiendo una aglomeración de partículas y cambiando el tamaño de cada una de ellas, ya que en publicaciones recientes se ha reportado que la nanocelulosa cristalina tiende a aglomerarse durante el tiempo que transcurre para su medición y el valor obtenido suele no ser el real, sin embargo nos permite corroborar que es posible obtener celulosa con tamaños nanométricos.

## CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en los espectros de FTIR confirman la presencia de grupos funcionales característicos de estos residuos lignocelulósicos, celulosa, hemicelulosa y lignina, sus principales componentes son grupos hidroxilo, metilo, metileno y carboxilo, estas bandas de absorción muestran diferentes intensidades en las fibras sin tratamiento, debido a la biomasa vegetal de la que se extrajeron y del proceso industrial de transformación de la materia prima por la

cual fueron generados estos residuos BAV, PTP y BCA. Con los tratamientos de eliminación de compuestos no deseados, blanqueamiento, hidrólisis alcalina y ácida se comprueba la eliminación, cambios significativos y ligeros desplazamientos en la intensidad de bandas de absorción de grupos funcionales correspondientes a la hemicelulosa y lignina. También se comprobó la presencia de los polimorfos de la celulosa I alfa, celulosa I beta y celulosa II mediante difracción de rayos X y la presencia de nanocelulosa mediante dispersión dinámica de luz.

Las biomasas de residuos agroindustriales del bagazo de *Aloe vera*, pseudotallo de plátano y bagazo de caña de azúcar, son fuentes no convencionales de celulosa, al ser utilizados como materia prima contribuyen a mejorar el impacto ambiental de las zonas cercanas donde son depositados y a la generación de nuevos materiales.

## REFERENCIAS

[1] L. Y. Ng, T. J. Wong, C. Y. Ng, and C. K. M. Amelia. (2021) A review on cellulose nanocrystals production and characterization methods from *Elaeis guineensis* empty fruit bunches. *Arabian J Chem*, 14, 103339.

[2] P. Phanthong, P. Reubroycharoen, X. Hao, G. Xu, A. Abudula, G. Guan. (2018) Nanocellulose: Extraction and application. *Carbon Resour Convers*, 1, 32–43.

[3] A. F. Lehrhofer, T. Goto, T. Kawada, T. Rosenau, H. Hettegger. (2022) The in vitro synthesis of cellulose—A mini-review. *Carbohydr Polym*, 285, 119222.

[4] M. Jakob, A R Mahendran, W Gindl-Altmutter, P Bliem, J Konnerth, Umüller, (2022) The strength and stiffness of oriented wood and cellulose-fibre materials: A review. *Prog Mater Sci*, 125, 100916.

[5] O. Gonultas, Z. Candan, (2018) Chemical characterization ftr spectroscopy of thermally compressed eucalyptus wood panels, *Maderas: Ciencia y Tecnologia*, 20, 431–442.

[6] S. A. Wahib, D. A. Da'na, M. A. Al-Ghouti. (2022) Insight into the extraction and characterization of cellulose nanocrystals from date pits. *Arabian J Chem*, 15, 103650.

[7] W. Dufouy, B. Dhuiège, I. Capron, G. Sèbe, (2022) Controlled hydrophobic modification of cellulose nanocrystals for tunable Pickering emulsions, *Carbohydr Polym Technol Appl*, 3, 100210.

[8] R. Alimohammadzadeh, A. A. Rafi, L. Goclik, C. W. Tai, A. Cordova. (2022) Direct organocatalytic thioglycolic acid esterification of cellulose nanocrystals: A simple entry to click chemistry on the

- surface of nanocellulose, *Carbohydr Polym Technol Appl*, 3, 100205.
- [9] L. Y. Ng, T. J. Wong, C. Y. Ng, C. K. M. Amelia, (2021) A review on cellulose nanocrystals production and characterization methods from *Elaeis guineensis* empty fruit bunches, *Arabian J Chem*, 14, 103339.
- [10] P. Shrestha, M. B. Sadiq, and A. K. Anal, (2021) Development of antibacterial biocomposites reinforced with cellulose nanocrystals derived from banana pseudostem, *Carbohydr Polym Technol Appl*, 2, 100112.
- [11] R. Cárdenas-Zapata, D. Palma Ramirez, A.I. Flores Vela, M. A. Domínguez Crespo, A. M. Torres Huerta, H.D. Rosales, S. B. Brachetti Sibaja (2022) Valorization of sawdust biomass for biopolymer extraction via green method: Comparison with conventional process, *Int J Energy Res*, 46, 20279–20302.
- [12] N. Y. Abu-Thabit, A. A. Judeh, A. S. Hakeem, A. Ul-Hamid, Y. Umar, A. Ahmad, (2020) Isolation and characterization of microcrystalline cellulose from date seeds (*Phoenix dactylifera* L.), *Int J Biol Macromol*, 155, 730–739.
- [13] M. R. Rahman, S. Hamdan, J. C. H. Lai, M. Jawaid, F. A. bin M. Yusof, (2017) Physico-mechanical, thermal and morphological properties of furfuryl alcohol/2-ethylhexyl methacrylate /halloysite nanoclay wood polymer nanocomposites (WPNCs), *Heliyon*, 3, e00342.
- [14] A. Boukir, S. Fellak, and P. Doumenq, (2019) Structural characterization of *Argania spinosa* Moroccan wooden artifacts during natural degradation progress using infrared spectroscopy (ATR-FTIR) and X-Ray diffraction (XRD), *Heliyon*, 5(9):e02477
- [15] W. T. Wulandari, A. Rochliadi, and I. M. Arcana, (2016) Nanocellulose prepared by acid hydrolysis of isolated cellulose from sugarcane bagasse,” in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Vol 107, Issue 1, article id 012045
- [16] S. Huang, L. Zhou, M. C. Li, Q. Wu, and D. Zhou, (2017) Cellulose nanocrystals (CNCs) from corn stalk: Activation energy analysis, *Mater*, 10.
- [17] T. Abitbol et al., (2016) Nanocellulose, a tiny fiber with huge applications,” *Curr Opin Biotechnol*, 39, 76–88.
- [18] A. Macías-Almazán, J.A. Lois Correa, M.A. Domínguez Crespo, A.B. López Oyama, A.M. Torres Huerta, S.B. Brachetti Sibaja, A.E. Rodríguez Salazar (2020) Influence of operating conditions on proton conductivity of nanocellulose films using two agroindustrial wastes: Sugarcane bagasse and pinewood sawdust, *Carbohydr Polym*, 238.

