

Evaluación de la extracción de fibras de celulosa de las hojas de piña y su aplicación en la industria papelera

Maria Camila Quintero-Quintana, Jenniffer Natalia Pedraza-Muñeton, Juan Murcia-Palacios, Daniel Rivera-Ríos, David. A Ortiz-Muñoz, Erasmo Arriola Villaseñor, Alba N. Ardila-A*

Grupo de Investigación CAMER, Facultad de Ciencias Básicas, Sociales y Humanas, Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, Medellín, Antioquia, Colombia.

* Autor de correspondencia: anardila@elpoli.edu.co.

Desarrollo Sustentable (Gestión y aprovechamiento de residuos sólidos).

Resumen: Mundialmente se han producido más de veintiocho millones de toneladas de piñas en el 2019. Sin embargo, las prácticas actuales para el manejo de los cerca de 76 millones de toneladas de residuos lignocelulósicos ponen en alto riesgo la sostenibilidad de la piñicultura. En este trabajo, se extrajeron y caracterizaron fibras de las hojas de la piña para analizar su potencial como insumo de la industria papelera en Colombia. Con el proceso propuesto (mercerización, blanqueamiento e hidrólisis ácida se lograron fibras de piña) se obtuvieron fibras con estructuras muy definidas y con longitudes transversales de 5-10 μm y sin restos de otros compuestos como ligninas, hemicelulosa o pectinas. Los efectos de las etapas de molienda sobre el tamaño y la composición de las fibras de piña se investigan exhaustivamente con la ayuda de microscopía electrónica de barrido (SEM) y con espectroscopía infrarroja (IR). Los resultados experimentales obtenidas a la fecha indican que las fibras extraídas de la piña tienen alto potencial para ser usadas en diferentes procesos de la industria papelera.

Palabras clave: Fibras de piña; residuos agrícolas; industria papelera.

Evaluation of the extraction of cellulose fibers from pineapple leaves and their application in the paper industry.

Abstract: More than 28 million tons of pineapples have been produced worldwide in 2019. However, current practices for the management of nearly 76 million tons of lignocellulosic waste put the sustainability of pineapple growing at high risk. In this work, fibers were extracted and characterized from pineapple leaves to analyze their potential as an input for the paper industry in Colombia. With the proposed process after (mercerization, whitening, and acid hydrolysis), pineapple fibers (PF) with very well-defined structures and cross-sectional lengths of 5-10 μm and without traces of other compounds such as lignins, hemicellulose, or pectins were achieved. The effects of the Stages of grinding on the size and composition of the pineapple fibers are extensively investigated with the aid of scanning electron microscopy (SEM) and infrared spectroscopy (IR). The experimental results to date, indicate that the fibers extracted from pineapple have a high potential to be used in different processes in the paper industry.

Keywords: Pineapple fiber; agricultural residues; valorization; paper industry.

Introducción

En la coyuntura de la post pandemia por el Covid-19, la sociedad actual requiere de diferentes esfuerzos para enfrentar los desafíos del cambio climático y a su vez continuar con la promoción de vías para el desarrollo sustentable en los países más pobres del mundo. El reto último de la especie humana es proveer alimentos, materiales y energía de una manera sostenible, adecuada y asequible para todos los habitantes del planeta. En este sentido, la Agenda 2030, se erige como la hoja de ruta que permitirá mejorar el sistema agroalimentario global, dado que este está inextricablemente enlazado con el aumento sustancial de la demanda de energía, el consumo y la producción insostenible de alimentos, así como con las consecuencias derivadas de la gestión poco eficiente de los desechos generados durante el cultivo, transporte, procesamiento y consumo de estos.

Añadido a lo anterior, cabe señalar que, de cara al crecimiento demográfico exponencial, la globalización, al aumento de los ingresos en algunos países en desarrollo y a la migración del campo a las ciudades, las consecuencias de este crecimiento insostenible y vertiginoso en los patrones de producción y consumo son el agotamiento acelerado de los recursos, la contaminación del aire y el agua, la pérdida de biodiversidad y de suelos fértiles, entre otros desafíos ambientales, sociales y económicos como el cambio climático (FAO, 2013).

Existe la necesidad de transformar la problemática de la gestión de los residuos agroindustriales en general y de las frutas tropicales como la piña en particular, en una oportunidad para revitalizar la vida de las comunidades rurales, mediante la inclusión de estos desechos en cadenas locales de valorización. De ahí que, muchos países, tienen como objetivo a largo plazo garantizar una transición a sociedades bajas en carbono, tal y como se describe en los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) del Programa de la Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). En ellos se incluyen nuevas aristas interconectadas de la problemática ambiental actual, como el cambio climático, la innovación, el consumo sostenible (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, 2018).

En este contexto, una de las prioridades en Colombia es fomentar la transición hacia una economía circular mediante la implementación de políticas que impulsen el uso eficiente de los recursos a largo plazo, con significativos impactos socio-económicos y beneficios ambientales, con la meta de reducir la generación de residuos. Por ende, uno de los objetivos de la aplicación de este enfoque es convertir las mal llamadas corrientes de residuos o desechos secundarios de bajo valor como las hojas de la piña en productos con alto valor agregado.

Sin embargo, a pesar de que la valorización de los residuos agroindustriales es vital para lograr cerca de 15 de los 17 ODS, queda claro que el “diablo siempre está en los detalles”, puesto que, entre las limitaciones de este enfoque en Colombia, sobresale el poco énfasis en dejar de ver a los pequeños productores como simples proveedores de materias primas baratas. Dejando en alto relieve la falta de análisis de los aspectos sociales de la circularidad que invitan a la puesta en marcha de pautas más éticas y socialmente inclusivas (Lazell et al., 2018).

La piña y la generación de residuos.

La piña, por su aroma, sabor, bajo costo y por estar llena de vitaminas, minerales entre otros componentes de alto valor biológico, es una de las frutas tropicales más populares y apreciadas en todo el mundo y juega un papel fundamental en la economía global, ya que es la segunda fruta tropical más comercializada después del banano (los cítricos se consideran subtropicales) (Sanewski, et al, 2018). La piña es una planta perenne cultivada en más de 85 países de bajos y medianos ingresos, en zonas tropicales y subtropicales en aproximadamente un millón de plantaciones (Figura 1), con un valor de producción bruto cercano a los 15.000 millones de dólares. En los últimos años, debido a su bajo costo y a los efectos saludables relacionados con su ingesta, el consumo de su fruta ha experimentado un fuerte aumento a nivel mundial, que se evidencia en el crecimiento de su producción de 16,8 en 2000 a más de 28 millones de toneladas métricas en 2019 (FAOSTATS, 2019). Aquí cabe señalar que, muchos productos o derivados de esta fruta se comercializan como materias primas, lo que los expone a una alta volatilidad de precios. Como resultado, los productores de piña viven en una alta vulnerabilidad económica.



Figura 1. Producción mundial de piña en el 2019. Datos FAO STATISTICS.

Por otro lado, satisfacer la creciente demanda mundial y el apetito por piña barata, se traduce en la tala de selvas tropicales para implementar grandes plantaciones, una práctica asociada con un alto impacto ambiental (Elbersen y Hengsdijk, 2019). Añadido a lo anterior, por lo general, después de la segunda cosecha, se presenta una reducción en el rendimiento del cultivo expresado en ton/ha; razón por la cual, el rastrojo (raíces y principalmente hojas) es retirado del terreno, lo que permite la preparación del suelo para un nuevo ciclo de siembra (Elbersen y Hengsdijk, 2019).

Antes de continuar, vale la pena detenerse para comprender la dimensión de este problema, puesto que con una proporción de rastrojo a fruta de 2.7:1, anualmente se generan cerca de 76 millones de toneladas de hojas y raíces globalmente, una cantidad significativa de biomasa que actualmente es infrutilizada y/o tratada como desperdicio (Satyanarayana et al., 2007). Con ello, se exacerbaban los ya significativos problemas ambientales y económicos relacionados con la piñicultura. Esta situación se explica a continuación.

Aunque las prácticas actuales para el manejo del Rastrojo de la Piña dependen de la cantidad en la que son generados, estos se a) incorporan al suelo después de la trituración mecanizada, b) se secan con herbicidas y luego se queman in situ, c) se depositan en vertederos, si se confirma la presencia de plagas como la mosca del establo, d) se deja en el suelo para que actúe como una cubierta que previene la erosión, mantiene la humedad y aporta nutrientes (Chen et al., 2020).

Como se observa en la Figura. 2, todas y cada una de las estrategias anteriormente mencionadas tienen importantes desventajas desde el punto de vista económico, ambiental o social. Primero, incorporar al suelo hasta 250 toneladas de biomasa por cada hectárea cultivada, con una inversión de entre 1500-2500 USD/ha, por lo que no solo es costoso, sino que también es un proceso lento y que libera pesticidas al ambiente. En segundo lugar, en estos residuos pueden desarrollarse larvas de la mosca chupadora de sangre (*Stomoxys calcitrans*), que afectan gravemente al ganado. Por último, la quema de estos desechos al aire libre es una fuente importante de emisiones de gases nocivos, ya que libera contaminantes productos de la combustión incompleta, como monóxido de carbono (CO), material particulado (PM) e hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) al ambiente (Elbersen y Hengsdijk, 2019, Russland et al., 2017; Zhang et al., 2011, Chen et al., 2020). Estos compuestos liberados causan peligros para la salud y contribuyen al calentamiento global (Zhang et al., 2011).

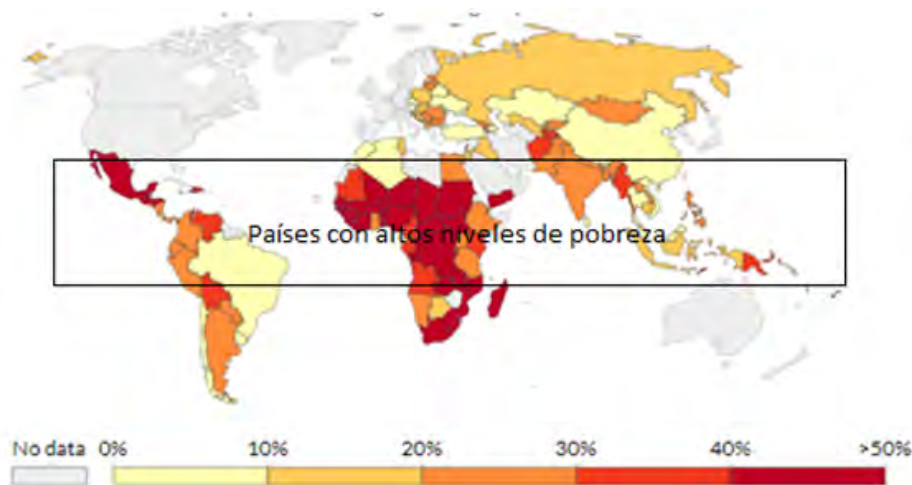


Figura 2. Regiones con mayores índices de pobreza en el mundo.

La región más productora de piña es también la región de mayor extrema pobreza. Por lo tanto, la valorización de los residuos de su cultivo debe verse como una oportunidad para la eliminación de la pobreza en esta región. Se ha visto que la piña se cultiva en una región con altos índices de pobreza, ilustrada en la Fig. 2. Por lo tanto, la valorización de las hojas del cultivo de la piña para la extracción de fibras para la industria papelera debe verse como una oportunidad para el crecimiento socioeconómico de las regiones de alta pobreza del mundo. Lo anterior, siempre y cuando tanto los productores de piña como los potenciales procesadores de la hoja, operen dentro de los límites de la ley, particularmente en lo que respecta a la propiedad de la tierra, los derechos laborales y la conservación del medio ambiente.

Por lo tanto, existe una necesidad urgente de diseñar nuevos procesos y/o productos a partir del rastrojo de la piña para diversificar la base de ingresos de los productores, logrando así mejorar la sustentabilidad y resiliencia de la piñicultura. Las explicaciones precedentes, permiten señalar que, a pesar de poder ser empleados en procesos de agregación de valor, se ha prestado poca atención a la biotransformación de los residuos del cultivo de la piña en

productos con importantes aplicaciones en las industrias alimentaria, farmacéutica y cosmética como el etanol, el ácido cítrico y la goma de xantano, mediante un modelo de biorrefinería integrado.

En este contexto, en los últimos años ha habido un interés creciente en la valorización de estos residuos, prueba de ello es la confirmación experimental que las hojas de piña están llenas de moléculas valiosas como celulosa, hemicelulosa, azúcares simples (glucosa y xilosa), aminoácidos, vitaminas y minerales. La composición de estos residuos convierte al jugo en una materia prima potencial para su conversión microbiana en combustibles (etanol o butanol) y productos de valor agregado (ácidos orgánicos, hidrocoloides entre otros). Sin embargo, cabe resaltar, que, a pesar del empleo del JHP para producir proteína unicelular, etanol y energía (Chen et al., 2020), entre otros productos finales bajo el concepto amplio de biorrefinería (Roda y Lambri, 2019; Banerjee et al., 2019), no se ha investigado la producción exclusiva de fibras para la industria papelera, y por ende tampoco se conoce las características de estas fibras mediante pruebas de infrarrojo, microscopía electrónica de barrido-SEM.

Este artículo tiene como objetivo caracterizar fisicoquímicamente las fibras extraídas de las hojas de la piña para evaluar las potencialidades y perspectivas de su uso en la industria papelera, como una solución a los problemas actuales de eliminación de biorresiduos.

Materiales y Métodos

Extracción de fibras de celulosa de la hoja de la piña

Pretratamiento de las hojas de piña: las hojas se separaron de la raíz con un cuchillo, se limpiaron con un trapo húmedo y se cortaron para secarlas al sol durante una semana aproximadamente.

Trituración: se utilizó un molino de cuchillas escalonadas para la trituración de las hojas secas. La muestra se pasó dos veces por el molino.

Mercerización: fibras fueron tratadas con NaOH al 15% m/v en una proporción 1:10 (fibra/solución) y agitadas continuamente con un ultraturrax a 550 rpm, a temperatura ambiente durante 2 horas.

Postratamiento: se filtró la solución con un colador casero y luego se lavó con agua destilada hasta que el agua del lavado alcanzó un pH neutro, medido con papel indicador, posteriormente se secó a 60°C en un horno de convección durante 2 días.

Blanqueamiento: se evaluaron tres tipos blanqueo.

Tipo 1: se realizó con una solución de H₂O₂ (30% v/v), NaOH (4% m/m) y silicato de sodio en proporciones iguales.

Tipo 2: se llevó a cabo con una solución de H₂O₂ (30% v/v), NaOH (4% m/m), silicato de sodio y carbonato de sodio, en proporción 5:5:2:1, respectivamente.

Tipo 3: se utilizó una solución de H₂O₂ (30% v/v), NaOH (4% m/m), en proporciones iguales.

Independientemente del tipo de blanqueo, primero cada una de las mezclas fueron agitadas continuamente con un ultraturrax a 550 rpm, a 50 °C durante 2 horas. Seguidamente se realizó el tipo de blanqueo correspondiente. Se eligió el mejor método para blanqueo de acuerdo con los análisis morfológicos y texturales obtenidos para las fibras. Los procedimientos siguientes se realizaron únicamente con las fibras elegidas.

Hidrólisis ácida: por cada 5 gramos de fibra se añadieron 100 mL de H₂SO₄ (40% m/m), a 50°C con agitación magnética en una plancha de calentamiento durante 2 horas.

Homogenización: este tratamiento se realizó empleando dos métodos diferentes.

Primer método: las fibras fueron homogeneizadas con agua destilada a 16.600 rpm en una batidora durante 10 minutos en fracciones de 5% y luego centrifugadas a 10.000 rpm en tres ciclos de 10 minutos cada uno y se secaron a temperatura ambiente.

Segundo método: las fibras secas se dispusieron durante 2 horas en un molino de bolas a 130 rpm para luego ser centrifugadas a 10.000 rpm en tres ciclos de 10 minutos cada uno.

Caracterización Química

Humedad: la composición de las hojas de piñas se determinó basados en dos principales componentes, el contenido de agua y la composición química (lignina, celulosa y hemicelulosa). Para el contenido de agua se tomaron 5 g de muestra, se cortaron en trozos de aproximadamente 1 cm y se pusieron a secar a 105°C hasta obtener peso promedio, la cantidad de humedad se calculó de acuerdo con la Ec. 1.

$$\% \text{ Humedad} = \left(\frac{\text{Peso muestra seca}}{\text{Peso muestra}} \right) \times 100 \quad (1)$$

Composición de las hojas de piña: para determinar la composición química de las hojas de piña se realizó un montaje de extracción Soxhlet, 5 gramos de la muestra fue envuelta en papel filtro y conectada a un matraz con 250 mL de agua destilada grado HPLC en duplicado. Todo el sistema fue conectado a un condensador y calentado en una plancha de calentamiento. El reflujo del sistema fue de aproximadamente 5 vaciados cada hora y se dispuso durante 8 horas. Después el solvente fue recuperado por rotaevaporación y los extraíbles permanecieron en el matraz para luego ser llevados al horno a 105°C y su masa fue obtenida por peso constante. El proceso se repitió nuevamente para la muestra, ahora con alcohol Etílico grado USP, recuperando nuevamente por rotaevaporación. La cantidad de extraíbles fue calculada empleando las ecuaciones 2 y 3.

$$\% \text{ Extraíbles} = \left(\frac{\text{Peso balón más extraíbles} - \text{Peso balón}}{\text{ODW}_{\text{muestra}}} \right) \times 100 \quad (2)$$

$$\text{ODW} = \frac{(\text{Peso papel filtro más extraíbles} - \text{Peso papel filtro}) \times \% \text{ Sólidos totales}}{100} \quad (3)$$

El % sólidos totales se determinó por medio de un análisis de cenizas.

Espectroscopía Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR): FTIR fue realizado con el fin de observar los cambios en los grupos funcionales a través de los diferentes procedimientos. Se empleó una lectura con número de ondas de 800 a 4000 cm^{-1} .

Microscopía Electrónica de Barrido (SEM): la caracterización morfológica de las fibras fue observada e investigada por medio del SEM. Todas las muestras fueron pasadas por un pretratamiento de una mini-revestidora por pulverización catódica de bombeo rotativo, con Argón como vehículo, obteniendo un film de paladio y oro para mejorar su visibilidad. El equipo utilizado fue un g2 pro phenom y las imágenes fueron tomadas en un rango entre 20 - 300 μm .

Resultados y Discusión

Composición de las hojas de piña.

En la Tabla 1 se presenta la composición de las hojas de piñas del Chocó, donde el 80% corresponde a agua y un 20% a lignina, celulosa y hemicelulosa principalmente. El procedimiento de extraíbles fue realizado en dos pasos para eliminar el material soluble en agua incluyendo material inorgánico, azúcares y nitrocompuestos, entre otros, que pueden ser provenientes directamente de la biomasa, pero también del fertilizante utilizado o el mismo suelo, siendo el segundo paso para remover el material soluble en etanol como clorofila, ceras, etc. La composición porcentual de extraíbles en la muestra seca se registra en la Tabla 2 siendo 26,31% extraíbles en agua y 5.12% extraíbles en etanol para un total de 31,43%.

Tabla 1. Composición de hojas de piña del Chocó.

Composición	%
Humedad	80
Extraíbles Y fibra	20

Tabla 2. Extraíbles hojas de piña del Chocó.

Solvente	Extraíbles	Duplicado
Agua	26,31%	25,64%
Etanol	5,12%	5,04%
Total	31,43%	30,67%

Espectroscopía Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR)

La espectroscopía infrarroja se utilizó para determinar los principales grupos funcionales de las fibras obtenidas. En la Figura 3 se observan los espectros obtenidos en la fibra cruda (sin tratamiento) y después de haber sido tratada. De igual forma en la Tabla 3 se presentan los principales grupos funcionales observados en los espectros, los grupos C-O-C, H-C-H y pirinosa los cuales están asociados a la presencia de celulosa, el grupo OH es característico de la molécula de agua, este se encuentra solamente en la muestra cruda debido a que la muestra final se encontraba seca, los grupos C=O, ésteres aromáticos, se asigna a las vibraciones de hemicelulosa y lignina que solo se presentan en la muestra cruda puesto que en la final se retiraron después del proceso químico de extracción realizado. En ambos espectros presentan picos en una longitud de 2300 cm^{-1} , sin embargo, este no se analiza ya que corresponde a un ruido del equipo generado específicamente por el CO_2 .

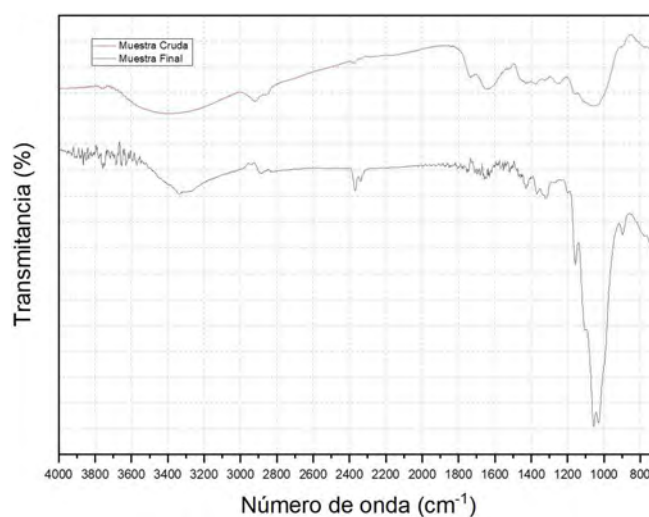


Figura 3. Espectros Infrarrojos por Transformada de Fourier. (Tratamiento)

Tabla 3. Principales grupos funcionales presentes en las fibras crudas y finales.

Fibra	C-O-C cm^{-1}	Ésteres aromáticos cm^{-1}	Piranosa cm^{-1}	OH cm^{-1}	C=O cm^{-1}	H-C-H cm^{-1}
Fibra cruda	1050	1240	-	1650	1750	3400
Fibra final	1010-1030	-	1350	-	-	3350

Microscopía Electrónica de Barrido (SEM).

Las imágenes de SEM obtenidas muestran diámetros entre $5\text{-}10\ \mu\text{m}$. En la hidrólisis ácida se obtuvieron fibras homogéneas en cuanto a su grosor y longitud, con una textura lisa y uniforme. En contraparte se obtienen en el molino de bolas fibras poco homogéneas y al compararlas respecto a las fibras obtenidas en la hidrólisis ácida se puede evidenciar ruptura no uniforme en la longitud, la textura de algunas fibras tomó forma de espiral y otras conservaron su forma lisa. Así mismo se puede observar que los procedimientos empleados lograron la despolimerización, esto se evidencia por la obtención de fibras aisladas y no aglomeradas (Figura 4).

En contraparte se obtienen, en el molino de bolas, fibras poco homogéneas y al compararlas respecto a las obtenidas en la hidrólisis ácida se puede evidenciar una ruptura no uniforme en la longitud, la textura de algunas fibras tomó forma de espiral y otras conservaron su forma lisa. Uno de los factores más incidentes en la comparación de los dos métodos de homogeneización empleados, es refinar las fibras para favorecer la formación de enlaces de hidrógeno. Así mismo se puede observar que los procedimientos empleados lograron la despolimerización, evidenciando la obtención de fibras aisladas y no aglomeradas, que pueden emplearse como materia prima para la fabricación de papel tissue ya que cumple con las características morfológicas para la fabricación de dicho papel.

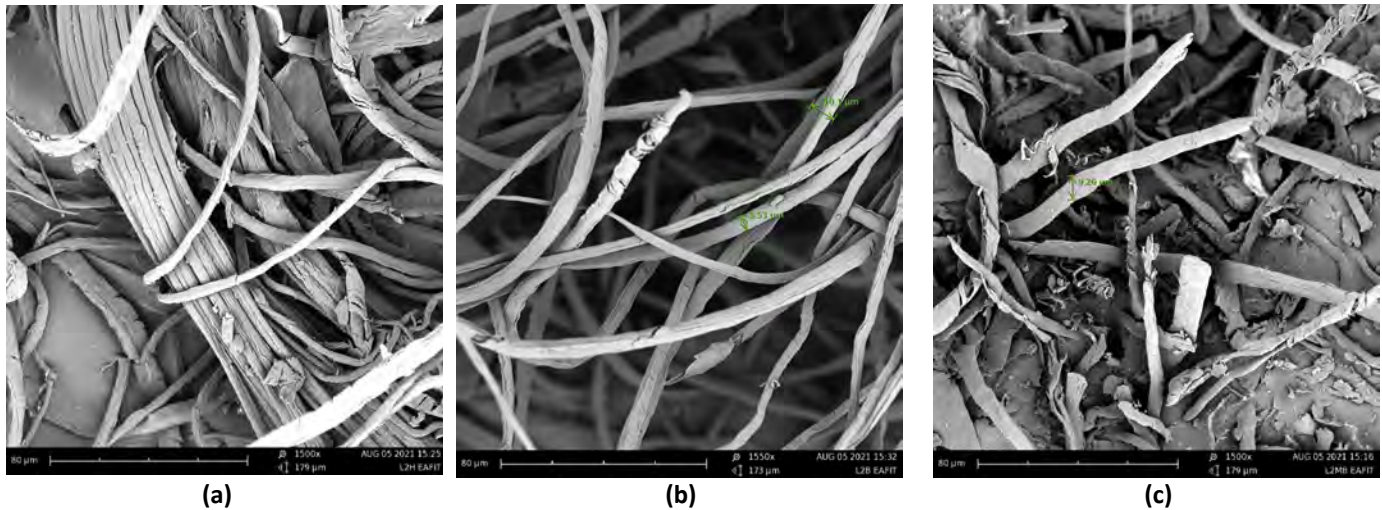


Figura 4. Fotografías obtenidas por SEM de las fibras en diferentes procesos: (a) Hidrólisis ácida (b) Homogenización en batidora y (c) Homogenización en molino de bolas.

Conclusiones

De acuerdo con los resultados mencionados, a través de este estudio se presenta un método de aprovechamiento para los residuos de hoja de piña, permitiendo evidenciar, por medio del análisis de SEM, la obtención de microfibras de celulosa, con una posibilidad alta para usarse en la industria papelera.

La intención de los pretratamientos y procedimientos realizados para aislar la celulosa de la fibra natural, se ve cumplida al momento de mostrar los análisis de IR, donde se evidencia la desaparición de los picos de los demás carbohidratos amorfos y por el SEM que muestra la aparición homogénea de fibras aisladas, demostrando que los procesos implementados, son efectivos para la remoción de hemicelulosa, lignina y demás componentes presentes en la matriz lignocelulósica.

Bibliografía

- Banerjee, S., Patti, A. F., Ranganathan, V., & Arora, A. (2019). Hemicellulose based biorefinery from pineapple peel waste: Xylan extraction and its conversion into xylooligosaccharides. *Food and Bioproducts Processing*, 117, 38-50 .
- Ban-Koffi, L., Y. Han (1990). "Alcohol production from pineapple waste." *World Journal of Microbiology and Biotechnology* 6(3): 281-284.
- Chen, A., Guan, Y. J., Bustamante, M., Uribe, L., Uribe-Lorío, L., Roos, M. M., & Liu, Y. (2020). Production of renewable fuel and value-added bioproducts using pineapple leaves in Costa Rica. *Biomass and Bioenergy*, 141, 105675 .
- Elbersen, H. W., & Hengsdijk, H. (2019) Costa Rica pineapple field residue valorisation. In 27th European Biomass Conference and Exhibition, EUBCE 2019.
- FAO. FAOSTAT. 2019 30 Julio, 2021]; Recuperado de: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>.
- Jin, Q., O'Keefe, S. F., Stewart, A. C., Neilson, A. P., Kim, Y. T., & Huang, H. (2021). Techno-economic analysis of a grape pomace biorefinery: Production of seed oil, polyphenols, and biochar. *Food and Bioproducts Processing*, 127, 139-151 .
- Lazell, J, Magrizos, S & Carrigan, M (2018), 'Over-Claiming the Circular Economy: The Missing Dimensions' *Social Business*, vol 8, no. 1, pp. 103-114.
- Lim, Z. E., Thai, Q. B., Le, D. K., Luu, T. P., Nguyen, P. T., Do, N. H., ... & Duong, H. M. (2020). Functionalized pineapple aerogels for ethylene gas adsorption and nickel (II) ion removal applications. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 8(6), 104524.
- Roda, A., & Lambri, M. (2019). Food uses of pineapple waste and by-products: a review. *International Journal of Food Science & Technology*, 54(4), 1009-1017.

-
- Ruslan, N., Aris, N., Othman, N., Saili, A., Muhamad, M., & Aziz, N. (2017). A preliminary study on sustainable management of pineapple waste: perspective of smallholders. *Int J Acad Res Bus Soc Sci*, 7(6):1-7 .
- Sanewski, G. M., Bartholomew, D. P., & Paull, R. E. (Eds.). (2018). *The pineapple: botany, production and uses*. CABI.
- Satyanarayana, K., Guimarães, J., & Wypych, F. (2007). Studies on lignocellulosic fibers of Brazil. Part I: Source, production, morphology, properties and applications. *Compos Part A Appl Sci Manuf*, 38(7):1694-1709 .
- Ververis, C., K. Georghiou, D. Danielidis, D. Hatzinikolaou, P. Santas, R. Santas, V. Corleti (2007). "Cellulose, hemicelluloses, lignin and ash content of some organic materials and their suitability for use as paper pulp supplements." *Bioresource Technology* 98(2): 296-301.
- Zhang, H., Hu, D., Chen, J., Ye, X., Wang, S. X., Hao, J. M., & An, Z.(2011). Particle size distribution and polycyclic aromatic hydrocarbons emissions from agricultural crop residue burning. *Environ Sci Technol*, 45(13):5477-82.