

Evaluación de la extracción de fibras de celulosa a partir de pseudotallos de banano con uso potencial en la industria papelera

Hely Johana-Restrepo, Johan Steven Valencia-Duarte, Erasmo Arriola-Villaseñor, Santiago Bedoya-Betancur, Juan David Valencia-González y Alba Nelly Ardila-Arias*

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.

Recibido: 23 de abril de 2021 Aceptado: 3 de mayo de 2021

Resumen: se obtuvieron fibras de celulosa a partir de residuos de pseudotallos de banano por dos rutas químicas diferentes: hidróxido de sodio al 30 % y peróxido de hidrogeno al 8%, los rendimientos promedio obtenidos fueron 24.4 % y 49,3%, respectivamente. Adicionalmente, de acuerdo con los resultados SEM, se obtienen un material más fibriloso con el tratamiento con álcali. Por otra parte, difractogramas DRX los materiales obtenidos por ambos métodos, muestran similitudes, sin embargo, un pico en 2θ igual a 16° en el material tratado con H_2O_2 , sugieren que el material que no fue degradado completamente, lo que nos permite saber que el porcentaje de rendimiento alto en comparación con el álcali al 30% del peróxido de hidrogeno al 8%, fue debido a que se encontraba material presente que no alcanza a reaccionar, concluyendo así mayor efectividad del tratamiento álcali. Dato que los resultados obtenidos hasta la fecha no son concluyentes, se continúa caracterizando las fibras obtenidas por otros análisis complementarios de SEM y otras técnicas para definir con mayor precisión sus dimensiones y morfología y a partir de dichos resultados determinar los posibles productos de la industria del papel para los cuales se podría destinar dichas fibras.

Palabras clave: pseudotallo de banano; fibras de celulosa; industria papelera.

Evaluation of the extraction of cellulose fibers from banana pseudostems with potential use in the paper industry

Abstract: Cellulose fibers were obtained from banana pseudostem residues by two different chemical routes: 30% sodium hydroxide and 8% hydrogen peroxide. The average yields obtained were 24.4% and 49.3%, respectively. Additionally, according to the SEM results, more fibrillous material is obtained under alkaline conditions. On the other hand, XRD diffractograms of the materials obtained by both methods, show similarities, however, a peak in $2\theta = 16^\circ$ in the material treated with H_2O_2 , suggests that the material that was not completely degraded and therefore concluding greater effectiveness with the alkali treatment. Thus, the results obtained to date are not conclusive, therefore, the fibers obtained are still characterized by other complementary SEM analyzes and other techniques to define their dimensions and morphology with greater precision and from these results determine the possible products of the paper industry for which said fibers could be used.

Keywords: banana pseudostem; cellulose fibers; paper industry.

Introducción

El ministerio de agricultura y desarrollo rural menciona que el plátano es el cultivo más sembrado en Colombia; el país ocupa el cuarto lugar en la producción, rendimiento y área de plátano a nivel global, tiene cobertura en 32 departamentos en 786 de sus municipios, donde el principal productor es Arauca con un 17% de la producción, seguido por Antioquia con un 10% (Agr & Marzo, 2020). Sin embargo, la parte comestible del banano constituye sólo un 12% en peso de la planta y las partes restantes se convierten en residuos agrícolas, volviendo el sector bananero en uno de los principales sectores generadores de este tipo de residuos (Molina-Ramírez *et al.*, 2020), lo que implica un efecto negativo en el medio ambiente y hace un llamado a la búsqueda de soluciones frente a este tipo de problemáticas ambientales. Como alternativa a esto, los científicos han puesto su atención en extraer fibras celulósicas de biomásas de diferentes especies vegetales como la nanocelulosa que es un material de esta naturaleza con posibilidad de obtener nanofibras y nanocristales de celulosa a través de procesos mecánicos, químicos, enzimáticos o biológicos.

La obtención de nanocelulosa a partir de fibras vegetales ofrece un gran atractivo, y se ha buscado la manera de aislar nanocelulosa para aprovechar los residuos agroindustriales generados por diferentes industrias a nivel mundial. Estos nanomateriales tienen propiedades como su bajo costo, densidad, son renovables, biodegradables y no tóxicas, se pueden utilizar como refuerzo en distintos polímeros y en aplicaciones en las que se requiera una alta transparencia y

baja expansión térmica (Yautepec-, 2016). La planta de banano está en capacidad de proveer fibras que poseen resistencias, color, belleza y longitudes discretas que pueden ser utilizadas para diferentes propósitos, por esto los desechos de banano son un recurso potencial, ya que proveen grandes cantidades de biomasa, específicamente caracterizadas por un alto contenido de celulosa, donde según estudios puede contener de 48 a 60 % en extracciones de fibras a partir del pseudotallo (Arafat *et al.*, 2018), convirtiéndolas así en una fuente de fibras de nanocelulosa sostenible, abundante y económica (Elanthikkal *et al.*, 2010), despertando el interés de industrias como la papelera, que es un sector caracterizado por el uso abundante de fibras de nanocelulosa que se obtienen a partir de las cortezas de la madera, donde se recurre a la tala aportando a la deforestación, lo que tiene efectos negativos sobre el medio ambiente tales como: el cambio climático, degradación del suelo, erosión, entre otros (Ramdhonee & Jeetah, 2017a). Las fibras de tipo celulosa son muy útiles en la fabricación de papel debido a sus fuertes propiedades de unión y barrera (Sharma *et al.*, 2020), esta es una de las razones por las que industrias de este tipo ven un potencial en uso de fibras provenientes de estas biomásas.

Diferentes estudios mencionan varias fuentes de donde se han aislado nanofibras de celulosa como la remolacha azucarera, pulpas de papa, trigo, paja, bagazo de caña de azúcar y fibras de cáscara de coco, incluso los residuos agrícolas de banano como raquis, desechos vegetales (Pelissari *et al.*, 2014) y el pseudotallo que según estudios contiene un alto contenido de celulosa y ya se ha utilizado en la fabricación de papel y en la industria de la pulpa desde los años 60's (Shimizu *et al.*, 2018). En el caso específico de los cultivos de plátano investigaciones mencionan que en un acre de tierra se puede cultivar alrededor de 1000 a 1500 pseudotallos y que se requiere aproximadamente 10 a 13 de estos tallos para producir entre 1 - 2 kg fibras de esta biomasa (Ramdhonee & Jeetah, 2017b).

Para extraer la celulosa de este tipo de materiales se hace necesario el uso de pretratamientos que permitan accesibilidad a la celulosa, Thomas Sango y colaboradores (2018) utilizaron un método químico en uno de sus pasos de deconstrucción para la extracción de fibras largas de pseudotallo, donde se utilizó soda caustica al 5% en diferentes etapas logrando la completa eliminación de la lignina. La composición química de partida (en base seca) fue de 14,7% de ligninas, donde en comparación con el contenido de lignina del pseudotallo con otras especies vegetales como, bagazo de caña de azúcar (25,3%), bonote (40 - 45%) o especies de madera (22 - 30% dependiendo de su naturaleza), es más bajo, esta diferencia de porcentaje es significativa en su eliminación y podría despertar el interés para producir papel, ya que estudios mencionan que la deslignificación es el paso más costoso en despulpado y no es amigable con el medio ambiente (Sango *et al.*, 2018). Otros estudios en materiales como las hojas de almendra, a través de explosión de vapor por auto hidrólisis en atmósfera de nitrógeno, demostraron que las mezclas poliméricas con las fibras obtenidas revelaron un potencial para reemplazar el polipropileno puro en aplicaciones comunes como envases, mejorando propiedades con una viabilidad elevada en ahorro de costos (Souza *et al.*, 2020).

En la presente investigación se busca abordar varias problemáticas resolviéndolas a través del uso de desechos agroindustriales, específicamente el pseudotallo del plátano. Se utilizó una metodología ya implementada por Felipe Lange y colaboradores en el año 2018 con algunas modificaciones, donde se utilizó un método químico con dos rutas químicas diferentes: hidróxido de sodio al 30 % y peróxido de hidrogeno al 8%, donde se parte de una composición en base seca de celulosa de 74% y 75% respectivamente y se evaluó el efecto del pretratamiento químico en la composición final del material celulósico obtenido, con el fin de evaluar la extracción de fibras de celulosa a partir de pseudotallos de banano para su uso potencial en la industria papelera (Shimizu *et al.*, 2018).

Materiales y Métodos

Obtención y acondicionamiento de la materia prima

La extracción de las nanofibras se llevó a cabo a partir de un procedimiento realizado por Felipe Lange Shimizu y sus colaboradores, pero con diferentes modificaciones (Shimizu *et al.*, 2018). Los troncos fueron recolectados de plantas de banano de la especie Crash Michael cosechados en un cultivo en el municipio de Girardota -Antioquia, Vereda el barro ubicado al norte de la región, se cortaron los troncos de plantas maduras después de cosechar los racimos de plátano al azar. Los pseudotallos se cortaron en rodajas y se secaron al sol durante 24 horas eliminando parte de la humedad del material. Posteriormente se llevó a cabo un secado por convección en un horno eléctrico a 100°C durante 72 horas para eliminar el agua en su totalidad. A continuación, se cortaron en trozos alrededor de 1 cm de longitud y seguidamente se molieron en un molino de cuchillas hasta obtener un polvo fino. Finalmente, el sustrato molido se

tamizó en un tamiz ASTM malla 80 y se almacenó en bolsas plásticas para su posterior tratamiento y análisis fisicoquímico.

Extracción de la nanocelulosa del pseudotallo del plátano mediante tratamientos químicos.

Tratamiento con álcali: antes de realizar los pretratamientos se planteó una relación de 0,25 g/ml para asegurar el contacto del sustrato en su totalidad con el tratamiento (Sango *et al.*, 2018). En un inicio se pesaron 200 g del sustrato y se transfirieron a un recipiente plástico de 2000 ml donde se mezclaron con 800 mL de solución de hidróxido de sodio al 30%, con ayuda de un agitador de vidrio se homogenizó y se dejó durante 24 horas a temperatura ambiente. A continuación, Las muestras obtenidas fueron transferidas a un frasco de vidrio y posteriormente fueron esterilizadas en una autoclave durante 30 minutos a 121 ° C / 1 atm. Una vez esterilizados los sustratos, se dejaron enfriar y posteriormente la fracción sólida se filtró al vacío a través de un tamiz ASTM malla 80, donde se realizaron 6 lavados con agua de grifo hasta que se obtuvo un pH de 7 en el agua resultante de los lavados. Finalmente, la fracción sólida resultante del filtrado (sustrato) se secó en un horno eléctrico a 100 °C en un recipiente de aluminio y posteriormente se almacenaron en bolsas para su caracterización.

Pretratamiento con peróxido: Inicialmente se pesaron 100 g de sustrato previamente secado y molido. Seguidamente se transfirieron a un beaker de 600 ml que contenía 400 ml de una solución de H₂O₂ al 8%, se homogenizaron con ayuda de un agitador de vidrio y se calentaron en un baño de agua termostático a 25 °C durante 4 horas. A continuación, las fracciones sólidas se separaron por filtración al vacío a través de un tamiz ASTM malla 80, se lavaron con agua del grifo hasta que los lavados obtuvieron un pH neutro. Finalmente, la fracción sólida resultante del filtrado (sustrato) secó en un horno eléctrico a 100 °C en un recipiente de aluminio y posteriormente fueron almacenadas en bolsas para su caracterización.

La ecuación 1 se utilizó para la determinación del porcentaje de rendimiento de obtención de fibras de celulosa.

$$\%Rendimiento = \frac{Masa\ experimental}{Masa\ teórica} * 100 \quad (1)$$

Caracterización fisicoquímica de las nanofibras

Se registraron las micrografías electrónicas de barrido (SEM) de las fibras, utilizando una metodología donde se montó el sustrato con cinta adhesiva de carbono de doble cara, recubierto con oro y se usó un microscopio electrónico de barrido asistido por emisión de campo JEOL FE-JSM-7100F que funcionó con un voltaje de aceleración 15 kV. Los análisis termogravimétricos se realizaron en un TGA Q500 Analizador Térmico (TA Instruments). Se calentaron alrededor de 0.5 g de muestra de residuo en un rango de temperatura de 30 a 500 ° C con una velocidad de calentamiento de 10 ° C /min. Se usó un crisol de porcelana bajo flujo de nitrógeno (100 mL /min). Los ensayos se realizaron en Difractómetro de Rayos X (DRX) Malvern-PANalytical Modelo Empyeon 2012, con detector Pixel 3D y fuente de Cu (=1.541874) a 45kV y 40mA; Goniómetro: Omega/2 theta y configuración de la plataforma: Reflexión Transmisión Spinner con giro de 4s. El paso fue de 0,05° y un tiempo por paso de 52s.

Resultados y Discusión

Durante la recolección se observó que gran cantidad en peso del pseudotallo es agua, realizando los cálculos pertinentes se obtuvo que el porcentaje de agua se encuentra alrededor de 92% en promedio, lo que deja como uso para la extracción de la nanocelulosa aproximadamente un 8% después del proceso de secado del sustrato. Esto es muy acorde a la literatura ya que ellos reportan que la cantidad de extractos disponibles después del secado es cercana al 10% (Cordeiro *et al.*, 2012). Para el pretratamiento con álcali (Hidróxido de sodio) se obtuvieron rendimientos después de proceso alrededor de 24,4 % (tabla 1) esto se debe a que gran parte del material se solubiliza durante el proceso, además de que puede existir despolimerización de las estructuras ya que se trata de biopolímeros que están expuestos a un tratamiento químico severo. Para el tratamiento con peróxido de hidrogeno los rendimientos obtenidos estuvieron alrededor del 49,3% en promedio, esto denota que como en el procedimiento álcali también hubo solubilización del material, solo que para este pretratamiento se presenta en menos proporción.

Tabla 1. Rendimiento para cada análisis químico realizado.

Código Muestra	Tratamiento	Rendimiento (%)
A	Biomasa muerta sin tratar	-
B	NaOH al 30%	24.4
C	H ₂ O ₂ al 8%	49.3

Se utilizó el análisis de microscopía electrónica de barrido (SEM) para evaluar los cambios en la morfología e investigar la microestructura de la superficie de la pared celular en muestras de pseudotallo de banano pretratadas. El análisis SEM se realizó con muestras pretratadas con hidróxido de sodio 30 % y muestras pretratadas con peróxido al 8%, porque estas concentraciones permiten, según la literatura, la eliminación de forma eficaz tanto la hemicelulosa como la lignina. El pseudotallo de banano sin tratamiento previo posee una superficie lisa sin daño de superficie (Figura 1), donde se observa modificada después de los tratamientos. La remoción de componentes de la biomasa, como hemicelulosa y lignina, mediante el pretratamiento con peróxido resultó en una modificación morfológica de la superficie de las muestras de pseudotallo de banano. Las superficies dañadas ya son lisas, muestran alteración y estaban claramente fragmentadas en apariencia. De acuerdo con la eliminación de subcomponentes en ambos pretratamientos se evidencian daños en la superficie debido a la eliminación de estos, reflejándose en la ruptura de la superficie mostrando fisuras.

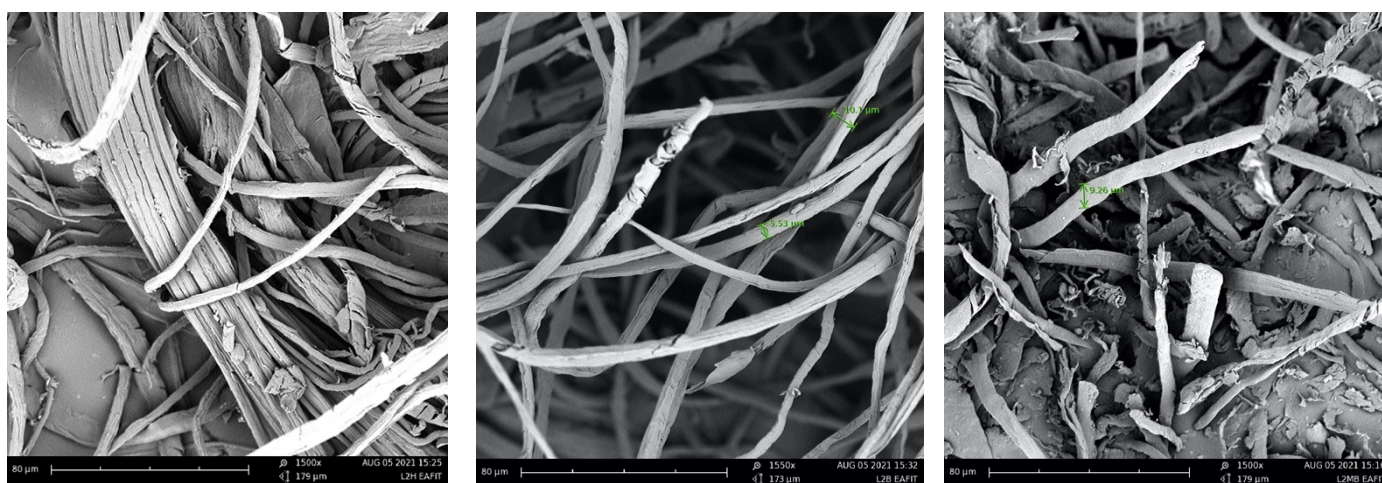


Figura 1. Imágenes SEM de las fibras obtenidas con los diferentes tratamientos.

Por medio del análisis termogravimétrico se pudo hacer el seguimiento de la descomposición térmica que presenta la biomasa obtenida del pseudotallo. De acuerdo con los resultados, se observó que antes de los 150 °C, para los tres casos, existe una primera zona de pérdidas donde se asocia directamente a la humedad residual, con una pérdida de alrededor del 5%. Después de los 150 °C inició una segunda fase de descomposición aumentando la velocidad de degradación y volviéndose a estabilizar en 200° C aproximadamente, a partir de este punto la derivada vuelve a crecer profundamente hasta los 400 °C y finalmente se observa que, aunque se sigue perdiendo masa, está la hace de forma constante [20]. Según la literatura, el fenómeno que ocurre entre los 200 y los 400 °C normalmente se le atribuye a la descomposición de la hemicelulosa y la lignina, donde la hemicelulosa se descompone primero que la lignina. Observando las 3 curvas se denotó una leve desviación en la forma que baja la pendiente de la derivada, esto se atribuye a que se está haciendo la degradación de varios componentes simultáneamente (Flores & Qui, 2018; Tibolla *et al.*, 2016; *et al.*, 2017)

Los análisis de difracción de rayos X (DRX) (Figura 2) se utilizaron con el fin de determinar la cristalinidad de las muestras pretratadas químicamente. El difractograma B (muestra tratada con Hidróxido de sodio al 30%) muestra planos cristalográficos ubicados entre 14 a 22.5° del Angulo 2 θ y es bastante similar a los difractogramas presentados por Thomas Sango y sus colaboradores (Sango *et al.*, 2018), Pelissari y colaboradores (Pelissari *et al.*, 2014), que reportaron planos cristalográficos ubicados entre 14 a 22.5° del Angulo 2 θ , estas características son acordes a la cristalinidad de la celulosa nativa conocida también como celulosa I (Cordeiro *et al.*, 2012; Flores & Qui, 2018; Tibolla *et al.*, 2016; *et al.*, 2017) Por otra parte la muestra C tratada con peróxido de hidrogeno al 8%, muestra la misma característica en sus

espectros que posee el pretratamiento álcali para los planos cristalográficos reportados entre 14 a 22.5° del Angulo 2θ , con la diferencia de que en el ángulo de aproximadamente $2\theta = 16^\circ$ se muestra otro pico que puede ser proveniente de material que no fue degradado durante los pretratamientos químicos, lo que nos permite saber que el porcentaje de rendimiento alto en comparación con el álcali al 30% del peróxido de hidrogeno al 8%, fue debido a que se encontraba material presente que no alcanza a reaccionar, concluyendo así mayor efectividad del tratamiento álcali.

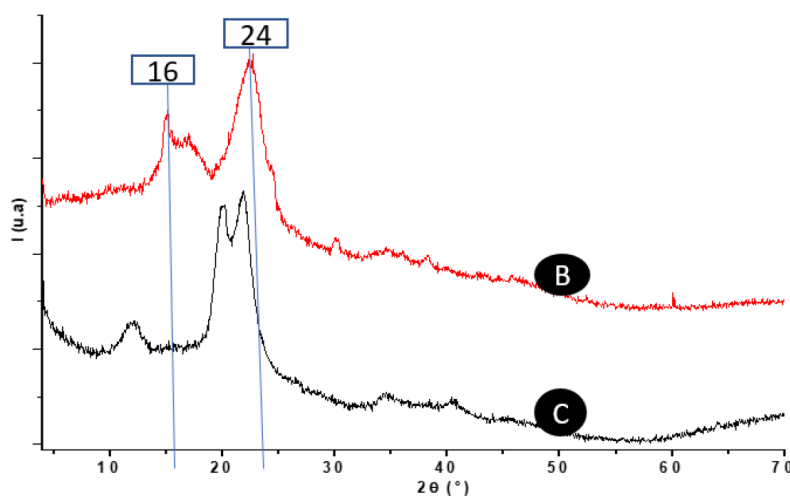


Figura 2. Análisis DRX de las fibras obtenidas con los diferentes tratamientos.

Conclusiones

Se obtuvieron fibras de nanocelulosa a partir de hojas de piña con rendimientos cercanos al 25% para el pretratamiento con álcali y para el caso del peróxido su rendimiento fue cercano al 50%. El análisis SEM reveló cambios en la superficie, corroborando así el efecto que tuvo sobre la misma cada pretratamiento químico. Del análisis DRX se concluye que la celulosa obtenida según los planos cristalográficos es de tipo 1, conocida también como celulosa amorfa. Los datos obtenidos a la fecha no son concluyentes, sin embargo, se continúa caracterizando las fibras obtenidas por otras técnicas para determinar la cantidad de lignina soluble y no soluble, de celulosa y hemicelulosa, análisis próximo y último y se están realizando otros análisis complementarios de SEM para determinar las dimensiones de dichas fibras y definir mayor información con respecto a la morfología de las mismas para de acuerdo con esto determinar los posibles productos de la industria del papel para los cuales se podría usar dichas fibras.

El presente estudio es una oportunidad para revitalizar la vida de las comunidades rurales, mediante la inclusión de estos desechos en cadenas locales de valorización, aportando desde un enfoque de economía circular en la solución de los problemas actuales de manejo de estos residuos.

Bibliografía

- Agr, C., & Marzo, F. (2020). *Cadena de plátano*.
- Arafat, K., Nayeem, J., Quadery, A., Quaiyyum, M., & Jahan, M. S. (2018). Handmade paper from waste banana fibre. *Bangladesh Journal of Scientific and Industrial Research*, 53(2), 83–88. <https://doi.org/10.3329/bjsir.v53i2.36668>
- Cordeiro, N., Mendona, C., Pothan, L. A., & Varma, A. (2012). Monitoring surface properties evolution of thermochemically modified cellulose nanofibres from banana pseudo-stem. *Carbohydrate Polymers*, 88(1), 125–131. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2011.11.077>
- Elanthikkal, S., Gopalakrishnanapicker, U., Varghese, S., & Guthrie, J. T. (2010). Cellulose microfibrils produced from banana plant wastes: Isolation and characterization. *Carbohydrate Polymers*, 80(3), 852–859. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2009.12.043>
- Flores, J. A., & Qui, G. R. (2018). *LIGNOCELULÓSICOS STUDY OF KINETICS IN THERMOGRAVIMETRIC PROCESSES OF LIGNOCELLULOSIC MATERIALS*. 20(2), 221–238. <https://doi.org/10.4067/S0718-221X2018005002601>
- Molina-Ramírez, C., Cañas-Gutiérrez, A., Castro, C., Zuluaga, R., & Gañán, P. (2020). Effect of production process scale-up on the characteristics and properties of bacterial nanocellulose obtained from overripe Banana culture medium. *Carbohydrate Polymers*, 240(January), 116341. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.116341>
- Pelissari, F. M., Sobral, P. J. D. A., & Menegalli, F. C. (2014). Isolation and characterization of cellulose nanofibers from banana peels. *Cellulose*, 21(1), 417–432. <https://doi.org/10.1007/s10570-013-0138-6>
- Ramdhoney, A., & Jeetah, P. (2017a). Journal of Environmental Chemical Engineering Production of wrapping paper from banana fi bres. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 5(5), 4298–4306. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2017.08.011>

- Ramdhonee, A., & Jeetah, P. (2017b). Production of wrapping paper from banana fibres. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 5(5), 4298–4306. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2017.08.011>
- Rueda-ordóñez, Y., & Tannous, K. (2017). *aplicando un esquema de reacciones paralelas independientes Kinetic analysis of biomass thermal decomposition applying a scheme of independent parallel reactions*. 16(2), 119–127.
- Rueda Ordóñez, Y. J., & Tannous, K. K. (2017). Análisis cinético de la descomposición térmica de biomásas aplicando un esquema de reacciones paralelas independientes. *Revista UIS Ingenierías*, 16(2), 119–128. <https://doi.org/10.18273/revuin.v16n2-2017011>
- Sango, T., Cheumani Yona, A. M., Duchatel, L., Marin, A., Kor Ndikontar, M., Joly, N., & Lefebvre, J. M. (2018). Step-wise multi-scale deconstruction of banana pseudo-stem (*Musa acuminata*) biomass and morpho-mechanical characterization of extracted long fibres for sustainable applications. *Industrial Crops and Products*, 122(June), 657–668. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.06.050>
- Sharma, M., Aguado, R., Murtinho, D., Valente, A. J. M., Mendes De Sousa, A. P., & Ferreira, P. J. T. (2020). A review on cationic starch and nanocellulose as paper coating components. *International Journal of Biological Macromolecules*, 162, 578–598. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.06.131>
- Shimizu, F. L., Monteiro, P. Q., Ghiraldi, P. H. C., Melati, R. B., Pagnocca, F. C., Souza, W. de, Sant’Anna, C., & Brienzo, M. (2018). Acid, alkali and peroxide pretreatments increase the cellulose accessibility and glucose yield of banana pseudostem. *Industrial Crops and Products*, 115(June 2017), 62–68. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.02.024>
- Souza, C. H. S., Gonc, M., Vieira, M. F., & Neves, S. (2020). *Steam-exploded fibers of almond tree leaves as reinforcement of novel recycled polypropylene composites*. 9(5), 11791–11800. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.08.069>
- Tibolla, H., Pelissari, F., Rodrigues, M., & Menegalli, F. C. (2016). Cellulose nanofibers produced from banana peel by enzymatic treatment: Study of process conditions. *Industrial Crops and Products*, 95. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.11.035>
- Yautepec-, C. (2016). *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos NANOCELULOSA OBTENIDA DE RESIDUOS AGROINDUSTRIALES DEL CULTIVO DE PLÁTANO MACHO (Musa paradisiaca L.)*. 1(2), 301–306.