

3

RESIDUOS DEL BANANO (*Musa paradisiaca*) como materia prima alternativa en la elaboración de papel

(Banana waste (*Musa paradisiaca*) as alternative raw material in papermaking)

Miguel Alvarado López¹, Marjorie Cevallos Pionce², Josselyn Alcívar Bravo³,
Elayne Dueñas Vera⁴, María Antonieta Riera⁵

¹ Universidad Técnica de Manabí, Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas, Carrera de Ingeniería Química, Ecuador. malvarado5999@utm.edu.ec. ORCID: 0000-0002-7286-4612

² Universidad Técnica de Manabí, Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas, Carrera de Ingeniería Química, Ecuador. mcevallos1827@utm.edu.ec. ORCID: 0000-0001-8347-3679

³ Universidad Técnica de Manabí, Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas, Carrera de Ingeniería Química, Ecuador. jalcivar2475@utm.edu.ec. ORCID: 0000-0002-8071-3689

⁴ Universidad Técnica de Manabí, Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas, Carrera de Ingeniería Química, Ecuador. eduenas4041@utm.edu.ec. ORCID: 0000-0002-6650-2156

⁵ Universidad Técnica de Manabí, Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas, Dept. de Procesos Químicos, Ecuador. maria.reira@utm.edu.ec. ORCID: 0000-0002-7195-2821

RESUMEN

El proceso tradicional de fabricación de papel usa la madera como materia prima. Sin embargo, problemas como la deforestación han motivado la implementación de nuevos recursos, considerando entre ellos los residuos agrícolas o agroindustriales. El presente trabajo forma parte de una experiencia académica de la asignatura Balance de Masa de la carrera Ingeniería Química donde se hace uso del pinzote de banano (*Musa paradisiaca*), el cual es un residuo del cultivo y comercialización de este fruto, para la obtención de papel artesanal. Para ello se estableció un proceso a escala de laboratorio conformado por cinco operaciones unitarias: digestión, filtrado, mezclado, prensado y secado. La metodología empleada fue para la extracción de las fibras de celulosa fue el *pulping* y por medio de titulación, se determinó el rendimiento del proceso. Los resultados obtenidos permitieron realizar el balance de masa del proceso descrito concluyendo que es posible emplear el pinzote de banano (*Musa paradisiaca*) para el fin mencionado y que además es necesario mejorar las condiciones de trabajo de las etapas de prensado y secado para



reducir la humedad del producto obtenido, por ser este un parámetro de gran importancia en la calidad del papel.

PALABRA CLAVE

Banano, papel de reciclaje, residuos agrícolas, residuos agroindustriales.

ABSTRACT

The traditional paper-making process uses wood as a raw material. However, problems such as deforestation have motivated the implementation of new resources, considering among them agricultural or agro-industrial waste. The present work is part of an academic experience, of the subject Mass Balance of the Chemical Engineering career where the banana (*Musa paradisiaca*) pinzote is used, which is a residue of the growing and trading of this fruit to obtain artisan paper. For this, a laboratory-scale process was established that consisted of five-unit operations: digestion, filtering, mixing, pressing, and drying. The methodology used was for the extraction of the cellulose fibers was pulping and by means of titration, the performance of the process was determined. The results obtained allowed to make the mass balance of the described process carried out, concluding that it is possible to use the banana (*Musa paradisiaca*) pinzote for the mentioned purpose and that it is also necessary to improve the working conditions of the pressing and drying stages to reduce the humidity of the product obtained, as this is a parameter of major importance in the quality of the paper.

KEYWORD

Banana, recycle paper, agricultural waste, agro-industrial waste.

INTRODUCCIÓN

La explotación maderera es una actividad económica que se desarrolla desde tiempos remotos para la producción de bienes y que en los últimos años ha sido identificada como una de las principales causantes de deforestación (Monjardín-Armenta *et al.*, 2017), por consumir los bosques para satisfacer el suministro de fibra de madera en diversas aplicaciones, siendo una de ellas la industria de papel.

La industria papelera no sólo se caracteriza por usar madera en su proceso de fabricación, sino que también es gran consumidor de agua, energía y productos químicos que de alguna manera contribuyen con el deterioro ambiental (Doldán García & Chas Amil, 2001). Como una mejora para este proceso, se promovió en los años 90 el reciclaje de papel, ofreciendo incluso en algunos países una recompensa económica para quienes lo hicieran (Rivera, 2004). Pero a medida que avanza la industria, también se han incrementado las exigencias ambientales y con ello, el desafío que enfrenta las fabricadoras del papel. En consecuencia, se ha sugerido la búsqueda de nuevas alternativas que van desde el cambio de disponibilidad y calidad de las materias primas, hasta la utilización de las corrientes secundarias generadas por esta industria (Bousios & Worrell, 2017).

Las nuevas materias primas comprende el uso de fibras de plantas no leñosas de rápido crecimiento (Brindha *et al.*, 2012), así como los residuos agrícolas (Ferrer *et al.*, 2005). Dentro de los residuos agrícolas se encuentran la cascarilla de arroz, tallos de palma, paja de trigo, residuos de plantas o de fábricas de papel, los cuales son biomásas con alto contenido celulósico (Uhland *et al.*, 2000; Aguilar Rivera *et al.*, 2014). Otro residuo de interés es el proveniente de la actividad platanera donde se tiene como beneficio el fruto, pero también puede aprovecharse el resto de la planta para la extracción de fibras, especialmente el pseudotallo y el pinzote (Kumar *et al.*, 2013).

La disponibilidad generalizada de pseudotallos de banano sin valor comercial, representa una fuente sustentable de materia prima no maderable que ha sido considerado para ser usado junto con el bagazo de caña de azúcar (Ramdhonee & Jeetah, 2017) y el papel reciclado (Rosal *et al.*, 2012) para la producción de papel. Uno de los principales rubros cultivables del Ecuador es el

banano con una producción aproximada para el año 2018, de 6500 millones de toneladas (Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), 2020).

Los pseudotallos de banano por lo general se destinan a la quema a cielo abierto o disposición en relleno sanitario. El aprovechamiento de estas fibras naturales representa una solución ambiental, que a la vez promueve el concepto de bioeconomía, por considerar el uso de biomasa lignocelulósica en la fabricación de un producto de interés comercial, susceptible de ser requerido en cualquier mercado.

En este sentido, se planteó bajo el esquema de una economía circular, la posibilidad de utilizar residuos del pinzote de banano (*Musa paradisiaca*) para elaborar papel ecológico, con el objeto de establecer las posibles etapas de fabricación, que permitan realizar un balance de masa preliminar del proceso.

MATERIALES Y MÉTODOS

Selección de materia prima

Los pinzotes de banano (*Musa paradisiaca*) utilizados en la experimentación fueron suministrados por un mercado de la localidad de Portoviejo, provincia de Manabí, Ecuador. La selección se realizó en forma manual, evaluando aspectos como: estado fresco y tamaño uniforme.

Proceso de elaboración de papel

Se estableció un diagrama para el proceso desarrollado en la elaboración del papel, el cual estuvo conformado por cinco operaciones unitarias: digestión, filtrado, mezclado, prensado y secado (Figura 1). En la digestión ocurre una hidrólisis alcalina, causando que los aniones hidróxido e hidrosulfuro reaccionen con la lignina (1), para que el material se separe en fragmentos más pequeños y solubles (Singh & Bandyopadhyay, 2013).



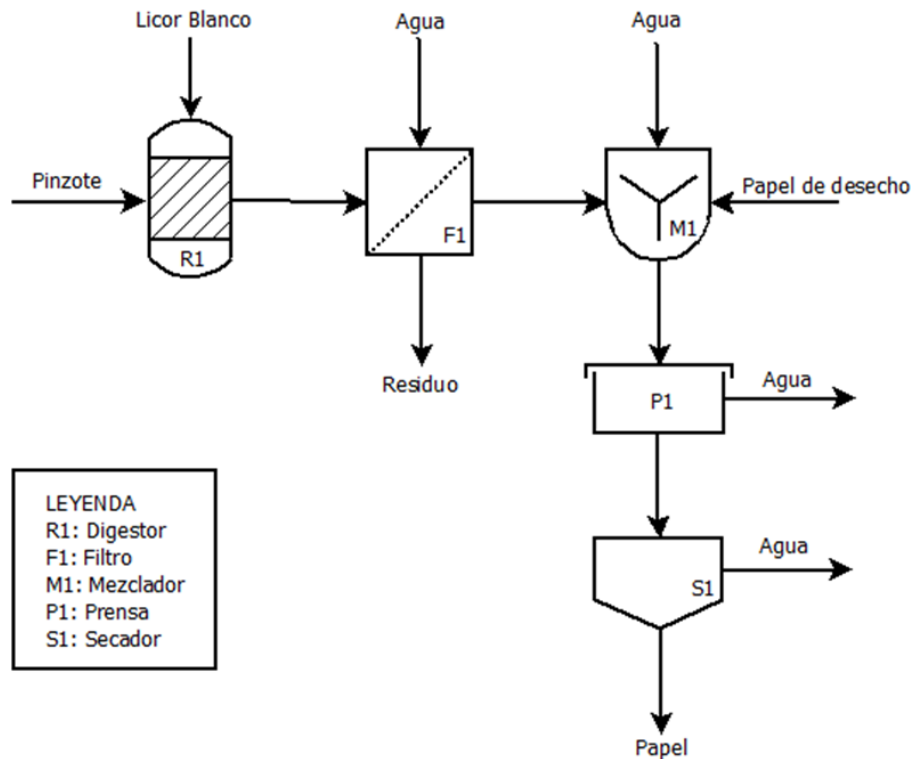


Figura 1. Diagrama de bloques del proceso

La humedad del material para cada etapa del proceso se determinó con ayuda de una termobalanza marca Boeco-BM 1. Para conocer el rendimiento de la hidrólisis en la etapa de digestión se valoró por volumetría (Figura 2) el NaOH con biftalato de potasio ($C_8H_5KO_4$). La titulación se realizó por triplicado para una mayor precisión.

Se realizó un balance de masa del proceso, con la finalidad de determinar el rendimiento que tiene el residuo del pinzote de banana como materia prima en la fabricación de papel, como sustituto de las fibras de madera. Para ello se utilizó la ley de conservación de la materia en estado estacionario (2), descrita por Felder & Rousseau (2004).

$$\text{Entrada} + \text{Generación} - \text{Salida} - \text{Consumo} = \text{Acumulación} \quad (2)$$



Figura 2. Titulación volumétrica para etapa de digestión

Obtención de papel artesanal

La metodología por seguir para este proceso llamado *pulping* se hizo según lo descrito por (Ramdhonee & Jeetah, 2017). Consistió en un tratamiento químico, donde se introdujeron 150 g de pinzote de banano (*Musa paradisiaca*) seco (Figura 3) con licor blanco conformado por 50 mL de NaOH 1 M, 50 mL de Na₂S 0.78 M y 500 mL de H₂O. La solución y las virutas del raquis se calentaron aproximadamente a 150°C durante 90 minutos (Figura 4), para suavizar las fibras del residuo. Se dejó enfriar y, posteriormente, las fibras se filtraron en un paño soportado por un tamiz.

La pulpa con lignina residual restante se lavó con abundante agua durante aproximadamente 40 minutos para eliminar el licor negro y el exceso de álcali (Figura 5). La pasta lavada se sometió a batido en presencia de agua y se añadió 75 g de papel reusado (Figura 6). Luego la mezcla resultante se prensó en prensa metálica a una temperatura de 80°C mediante elementos de sujeción y posterior a ello, la lámina obtenida se sometió a secado a temperatura ambiente por un periodo de 48 horas, obteniendo así el papel artesanal.



Figura 3. Pinzote descortezado y cortado



Figura 4. Digestor usado experimentalmente



Figura 5. Lavado de la pulpa



Figura 6. Batido de la pulpa

RESULTADOS

Al llevar a cabo el proceso descrito para la elaboración del papel, se notó que el pinzote una vez que se cortó y al estar en contacto con el aire, comenzó a tomar una coloración marrón producto de la oxidación. La digestión permitió el ablandamiento de las fibras del pinzote, como consecuencia de la hidrólisis. Comentarios similares señala Parra Negrete *et al.* (2010) al someter a diferentes tratamientos pencas de agave, para la extracción de fibras con fines de elaborar papel y artesanías.

En la filtración se retiró un líquido de color oscuro, debido a la lignina removida durante la hidrólisis. La biomasa lignocelulosa es sometida a agentes químicos, para alterar su estructura vegetal y solubilizar el azúcar presente (Pantoja Matta *et al.*, 2015). El pinzote de banano (*Musa paradisiaca*) usado como materia prima registró un porcentaje de humedad de 87,50% siendo inferior a 92,32% y 93,73% los cuales fueron valores reportados por Turrado *et al.* (2009) para el pinzote de banana de la variedad *Musa balbisiana* y *Musa acuminata*, respectivamente.

Por titulación, se determinó que el rendimiento de la hidrólisis fue del 32%, cercano a 39,50% obtenido en la elaboración de papel artesanal de caña de azúcar (Salgado-García *et al.*, 2017). De esta manera para 150 g de pinzote utilizado como materia prima, se obtuvieron 48 g de fibra de celulosa, que se emplearon en la fabricación de papel artesanal. Con la información obtenida tanto a nivel experimental como con la aplicación de la ley de conservación de la masa definida en (2) se realizó el respectivo balance de masa del proceso (Figura 7).

Sin embargo, al revisar la cantidad de papel finalmente obtenido, se evidencia que su contenido supera la cantidad de fibras de celulosa y de papel de reúso alimentado, lo cual indica que el resto del contenido del papel es agua, siendo este un parámetro de calidad de importancia que afecta la durabilidad del material.

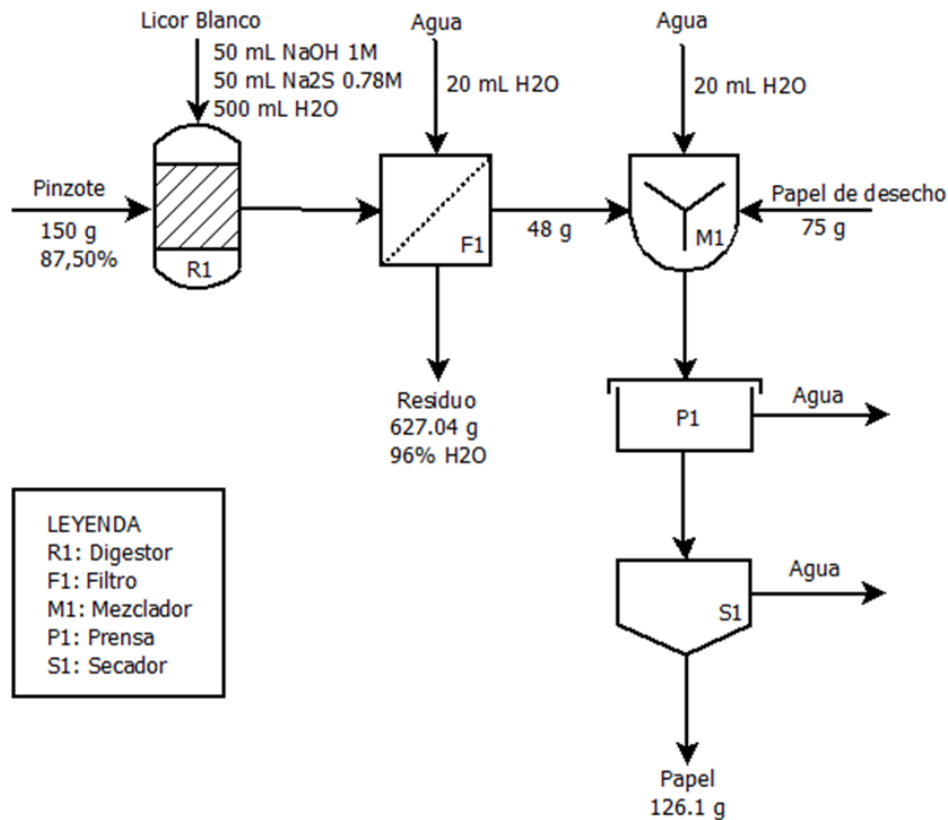


Figura 7. Balance de masa en el proceso de elaboración de papel artesanal

CONCLUSIONES

El uso de biomasa es una excelente alternativa para la sustitución de fibras de madera en el proceso de fabricación de papel. Es posible extraer la celulosa del pinzote de banana (*Musa paradisiaca*), el cual es un residuo agrícola poco aprovechado, para su revalorización en la elaboración de nuevos materiales. En el proceso establecido es recomendable mejorar las etapas de prensa y secado a fin de reducir el porcentaje de agua en el papel finalmente obtenido, a fin de brindar un mayor tiempo de vida útil al producto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar Rivera, N., Houbbron, E., Rustrian, E., & Reyes Alvarado, L. C. (2014). Papel amate de pulpa de café (*Coffea arabica*) (residuo de beneficio húmedo). *Ra Ximhai*, 10(3), 103–117. <https://doi.org/10.35197/rx.10.01.e.2014.08.na>
- Bousios, S., & Worrell, E. (2017). Towards a Multiple Input-Multiple Output paper mill: Opportunities for alternative raw materials and sidestream valorisation in the paper and board industry. *Resources, Conservation and Recycling*, 125, 218–232. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.06.020>
- Brindha, D., Vinodhini, S., Alarmelumangai, K., & Malathy, N. S. (2012). Physico-chemical properties of fibers from banana varieties after scouring. *Indian Journal of Fundamental and Applied Life Sciences*, 2(1), 217–221. <http://www.cibtech.org/J-LIFE-SCIENCES/PUBLICATIONS/2012/Vol 2 No 1/38 JLS 37 -BRINDA DEVRAJ.pdf>
- Doldán García, X., & Chas Amil, M. (2001). La contaminación de la industria de pasta-papel en Galicia: un análisis de flujos de materiales y energía. *Estudios de Economía Aplicada*, 18, 143–158. <https://www.redalyc.org/pdf/301/30118206.pdf>
- Felder, R. M., & Rousseau, R.W. (2004). *Principios elementales de los procesos químicos*. 3ª ed. Editorial Limusa Wiley.
- Ferrer, J. L., Pérez, A., Alcaide, L. J., Angulo, V., & Rodríguez, A. (2005). La Paulownia: una planta de rápido crecimiento como materia prima para la fabricación de papel. *AFINIDAD*, 62(516), 100–105. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=1203476>
- Kumar, A., Singh, B. P., Jain, R. K., & Sharma, A. K. (2013). Banana Fibre (*Musa sapientum*): A Suitable Raw Material for Handmade Paper Industry via Enzymatic Refining. *International Journal of Engineering Research & Technology*, 2(10), 1338–1350. <https://www.ijert.org/research/banana-fibre-musa-sapientum-a-suitable-raw-material-for-handmade-paper-industry-via-enzymatic-refining-IJERTV2IS100417.pdf>



- Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). (2020). *Panorama Agroestadístico*.
http://sipa.agricultura.gob.ec/descargas/panorama_estadistico/panorama_estadistico.pdf
- Monjardín-Armenta, S. A., Pacheco-Angulo, C. E., Plata-Rocha, W., & Corrales-Barraza, G. (2017). La deforestación and sus factores causales en el estado de Sinaloa, México. *Madera Bosques*, 23(1), 7–22. <https://doi.org/10.21829/myb.2017.2311482>
- Pantoja Matta, A. J., Cuatin Inguilán, M. F., & Muñoz Muñoz, D. (2015). Efecto del pretratamiento químico y enzimático en la deslignificación de biomasa agroindustrial típica del cauca. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 13(1), 45–53. <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v13n1/v13n1a06.pdf>
- Parra Negrete, L. A., Del Villar Quiñones, P., & Prieto Rodríguez, A. (2010). Extracción de fibras de agave para elaborar papel y artesanías. *Acta Universitaria*, 20(3), 77–83. <https://doi.org/10.15174/au.2010.63>
- Ramdhonee, A., & Jeetah, P. (2017). 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>
- Rivera, N. (2004). El Reciclado De Papel Y Cartón. *Elementos: Ciencia y Cultura*, 11(53), 54–56. <https://www.redalyc.org/pdf/294/29405308.pdf>
- Rosal, A., Rodríguez, A., González, Z., & Jiménez, L. (2012). Use of banana tree residues as pulp for paper and combustible. *International Journal of Physical Sciences*, 7(15), 2406–2413. <https://doi.org/10.5897/ijps11.1661>
- Singh, L., & Bandyopadhyay, T. K. (2013). Handmade paper from banana stem. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 4(7), 2074–2079. <https://www.ijser.org/researchpaper/Handmade-paper-from-banana-stem.pdf>

Revista Colón Ciencias, Tecnología y Negocios

ISSN: 2313-7819

revistas.up.ac.pa/index.php/revista_colon_ctn



Turrado, J., Saucedo, A. R., Sanjuán, R., & Sulbaran, B. (2009). Pinzote de *Musa balbisiana* y *Musa acuminata* como fuente de fibras para papel. *Información Tecnológica*, 20(4), 117–122. <https://doi.org/10.4067/s0718-07642009000400013>

Uhland, J. R., Smith, D. C., & Farone, W. A. (2000). *Production of particle board from agricultural waste* (Patent No. WO 02/14039 A1). <https://patents.google.com/patent/WO2002014039A1/de>