

DESARROLLO DE UN PROCESO ESCALA DE LABORATORIO PARA LA PRODUCCIÓN DE CELULOSA A PARTIR DE FIBRA DE ABACÁ (*Musa textiles*)

DEVELOPMENT OF A LABORATORY SCALE PROCESS FOR THE PRODUCTION OF CELLULOSE FROM ABACÁ FIBER (*Musa textiles*)

Leah Jazmín Chávez- Moran¹, Julio Pineda-Insuasti², Alejandro Pineda-Soto²

¹Universidad Central del Ecuador, Facultad de ingeniería Química, Carrera de Ingeniería Química. Quito, Ecuador.

²Centro Ecuatoriano de Biotecnología del Ambiente, CEBA. Ibarra, Ecuador

Autor para correspondencia: jmchavezm1@uce.edu.ec

Recibido: 22/11/24

Aceptado: 22/12/24

Publicado: 30/12/24

RESUMEN

Se identifica que existe limitado conocimiento sobre el proceso de producción de celulosa a partir de fibra de abacá. El objetivo de esta investigación es desarrollar un proceso a escala de laboratorio para la producción de celulosa de abacá, mediante el análisis de procesos químicos. La investigación se realizó con un diseño experimental factorial 2² se consideró como factores de estudio la concentración de NaOH en sus niveles de 5,0 y 10 N(mol/l) y el tamaño partícula entre 1,5 y 10 cm. Se logra un óptimo de celulosa igual a 4,31253 g con 10 cm de tamaño de partícula y 10 N de concentración de NaOH. Se ajustó un modelo matemático empírico que relaciona la celulosa con los factores estudiados, lo que permite optimizar el proceso.

Palabras clave: abacá, celulosa, fibras, NaOH

ABSTRACT

It is identified that there is limited knowledge about the process of cellulose production from abaca fiber. The objective of this research is to develop a laboratory-scale process for the production of cellulose from abaca, through the analysis of chemical processes. The research was carried out with a 22 factorial experimental design, and the concentration of NaOH at levels of 5.0 and 10 N (mol/l) and the particle size between 1.5 and 10 cm were considered as study factors. An optimum cellulose equal to 4.31253 g is achieved with 10 cm particle size and 10 N NaOH concentration. An empirical mathematical model was adjusted that relates cellulose with the factors studied, which allows optimizing the process.

Keywords: abaca, cellulose, fibers, NaOH

INTRODUCCIÓN

La fibra de abacá se obtiene de una planta de la familia del plátano. Crece principalmente en Filipinas, Ecuador y Costa Rica y se cultiva por su valor comercial. El abacá se extrae de la vaina de las hojas que rodean el tronco de la planta. Se trata de una fibra vegetal compuesta por células largas y delgadas que forman parte de la estructura de soporte de la hoja (Terranova, 2011).

Ecuador es uno de los principales productores y exportadores de abacá, ocupando el segundo lugar a nivel mundial con un total de 14 831 hectáreas del cultivo establecidas en nuestro país y producciones de 1 000 a 1 500 kg / Ha. El cantón La Concordia, perteneciente a Santo Domingo de los Tsáchilas, por sus características edafoclimáticas, posee suelos aptos para este cultivo y es reconocido por ser el 39 % de la producción a nivel Nacional (Álvarez Castillo, n.d.)

En la investigación moderna, las fibras naturales han recibido mucha atención debido a sus mayores potenciales, como su bajo peso, su respeto al medio ambiente, su enorme rigidez específica, su mayor capacidad de inmersión en impactos y su precio comparativamente más bajo (Sivasankar et al., 2023).

En el contexto actual, caracterizado por un creciente reconocimiento de la importancia de la sostenibilidad y la reducción de la contaminación ambiental, el uso de fibras naturales como el abacá presenta desafíos y oportunidades significativas. El abacá, una fibra derivada de la planta de banano de Manila, se destaca por su resistencia, durabilidad y versatilidad. Estas características lo convierten en un material valioso para una amplia variedad de aplicaciones. El abacá se considera una genial materia prima en la preparación de papel de seguridad y de alta calidad, pañales, servilletas, filtros de maquinaria, textiles para centros de salud (delantales, viseras, guantes) y cables de conducción eléctrica (tejidos, 2020).

En el panorama actual, donde la preocupación por los efectos devastadores de los materiales sintéticos y la contaminación plástica ha alcanzado un punto crítico, la búsqueda de alternativas sostenibles se ha vuelto imperativa. Las fibras naturales, incluido el abacá, representan una solución prometedora para abordar estos desafíos. Al utilizar materiales renovables y biodegradables, se puede reducir significativamente la dependencia de los productos derivados del petróleo y mitigar el impacto negativo en el medio ambiente, ya que el abacá es una de los pocos cultivos no madereros que al procesarse puede adquirirse pulpa celulosa; gracias a sus características ecológicas y su resistencia a plagas o enfermedades es considerada una buena opción para los productores de la zona, sin embargo, el desconocimiento acerca del cultivo ha sido el mayor impedimento. Está compuesto de un 77% de celulosa caracterizados por su resistencia, longitud de fibra y el brillo que la conforma (Álvarez Castillo, n.d.).

En este sentido, el abacá y otras fibras naturales representan no solo una alternativa viable, sino un paso crucial hacia un futuro más armonioso y respetuoso con el medio ambiente.

PROCESO DE OBTENCIÓN DE FIBRA DE ABACÁ Deshoje

Se realiza el corte de todas las hojas de la planta y de la flor, esto se realiza con la ayuda de una cuchilla con filo para facilitar su corte (Cárdenas Veliz, n.d.).

Corte del tallo

Esta actividad se utiliza un machete y el corte se lo realiza de manera inclinada hacia a fuera a 10 cm sobre el suelo, para facilitar el corte de la persona que lo realiza (FAO, n.d.).

Tuxeo

Aquí se extraen tiras de las capas que cubren al pseudotallo, donde son extraídas tiras finas o llamadas tuxies con un ancho entre 5 a 8 cm y

la longitud depende del tamaño del tallo y variedad (Cárdenas Veliz, n.d.).

Desfibrado

En esta actividad se realiza la remoción del material no fibroso, esto se hace con la ayuda de una máquina conformada por un motor, un rodillo, un sistema de embrague y cuchillas; el cual su motor funciona con la aplicación de diésel que tiene un movimiento generado entre los 8 y 14 caballos de fuerza. Para su extracción de la fibra se toma una parte de los tuxes de similar color y estas se los coloca en la cuchilla las puntas de la parte inferior y lo que sobra hacia abajo va en el rodillo, con ayuda manual se extrae la fibra separada del residuo no fibroso (Cárdenas Veliz, n.d.).

Secado

Se lo realiza un secado solar al ambiente, aquí se utilizan tendales hechos con cañas u otro tipo de estructura resistente, el tiempo en secarse va a depender de las condiciones climáticas como la temperatura y la humedad. En días muy soleados el secado toma alrededor de 3 a 5 horas y en días poco soleados se tarda en secarse de 1 a 3 días. La fibra es secada en forma separada por su color y calidad, para después formarlas en pacas para ser almacenada en bodegas con cubierta y con ventilación de acuerdo con cada categoría (Terán L, n.d.).

Se identifica que existe limitado conocimiento sobre el proceso de producción de celulosa a partir de la fibra de abacá.

El objetivo principal de este estudio es el desarrollar un proceso escala de laboratorio para la producción de celulosa a apartir de fibra de abacá, mediante el análisis de propcesos químicos, que permita el máximo aprovechamiento de las materias primas.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en laboratorio de ingeniería Química de la Universidad Central del Ecuador, localizado en la ciudad de Quito.

Materia prima

Como materia prima se utilizó la fibra de abacá proporcionada por el Centro Ecuatoriano de Biotecnología del Ambiente-CEBA de la ciudad de Ibarra (figura 1). Fibra de calidad B, suministrada por los productores de la Cooperativa Abacá Ecuador (CAE) de Santo Domingo de los T'sachilas.



Figura 1. Fibra de abacá

Fuente: CEBA

Diseño experimental

Como unidad experimental se estableció una muestra de 5 g de fibra de abacá calidad B, como factores de estudio Como factores de estudio se seleccionó la concentración del solvente NaOH entre 5 y 10 N y el tamaño de partícula de la fibra de 1, 5 y 10 cm.

Como variable de respuesta se estableció la cantidad de celulosa medida en gramos.

Se utilizó el software estadístico STATGRAPHICS, para planificar un diseño experimental factorial multinivel estándar 2², con tres replicas, completamente aleatorio, con un total de 12 tratamientos. El diseño se ejecutó en 3 bloques y el orden de los experimentos ha sido completamente

aleatorizado para aportar protección contra el efecto de variables ocultas.

Atributos de Diseño Factorial Multinivel

Clase de diseño: Factorial Multinivel

Diseño Base

Número de factores experimentales: 2

Número de bloques: 3

Número de respuestas: 1

Número de corridas: 12

Grados de libertad para el error: 6

Aleatorizar: Sí

Factores	Bajo	Alto	Niveles	Unidades
Concentración NaOH	5,0	10,0	2	(mol/l)
Tamaño partícula	1,0	10,0	2	(cm)

Respuestas	Unidades
Celulosa	(g)

Procedimiento Experimental

En la figura 2, se presenta el diagrama de flujo del proceso experimental.



Figura 2. Diagrama de bloque producción de celulosa de abacá.

Se procedió al aspirado y soplado del aire ambiente suministrado por un soplador de tiro forzado (figura 3). Soplador/Aspiradora de cuerpo plástico con potencia de 600W profesional, con una velocidad variable para un fácil control del flujo del aire, 16000,0 rpm y flujo de 3,5 m³/min. Marca STANLEY.

Se procedió al triturado de la fibra en 1,5 cm aproximadamente y colorar la fibra picada en el matraz.



Figura 3. Fibra de abacá triturada de 1,5 cm
Fuente: Autores



Figura 4. Fibra de abacá triturada de 10 cm
Fuente: Autores

Se procedió a preparar una solución de NaOH de 100 ml al 5 % N y agregarlo al matraz del paso anterior.

La mezcla se llevó a la estufa y se mantuvo a temperatura de ebullición hasta observar el desprendimiento de lignina.

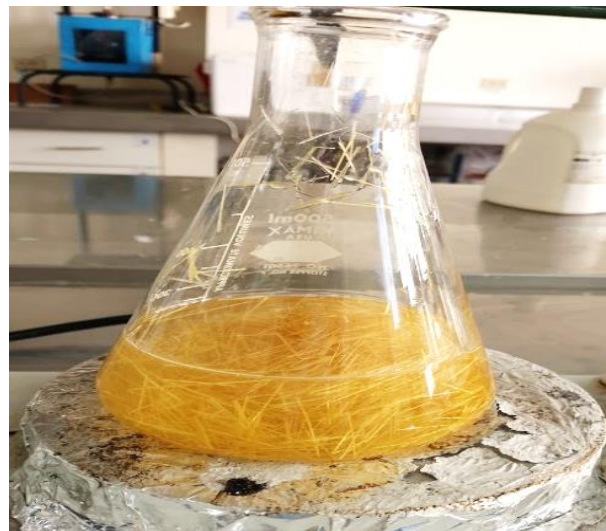


Figura 5: Cocción de la fibra de 1.5 cm.
Fuente: Autores

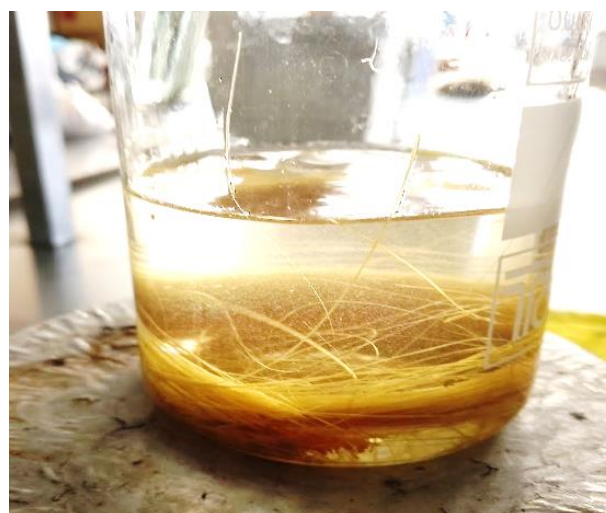


Figura 6: Cocción de la fibra de 10 cm.
Fuente: Autores

Luego se retiró la mezcla de la estufa, eliminarlo del medio acuosa y lavado.

Se preparó una solución de H₂O₂ al 10 %, y se agregó al matraz con la pulpa obtenida, se llevó la mezcla a ebullición hasta obtener el blanqueado deseado.

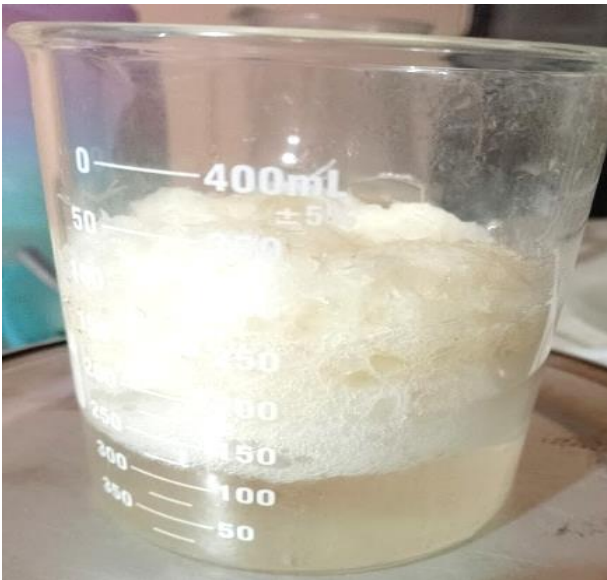


Figura 7. Blanqueamiento de la celulosa

Fuente: Autores

Se debe repetir todos los pasos descritos anteriormente para las concentraciones de 10 y 5 N de NaOH.



Figura 8. Celulosa obtenida de abacá

Fuente: Autores

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla 1, se presenta la matriz de resultados experimentales, como se observa se logra un mínimo de celulosa de 4,0021 g, cuando se trabaja con una concentración de NaOH de 5 N y 1,5 cm de tamaño de partícula de abacá y un máximo de celulosa de 4,3245 g cuando se trabaja con una concentración de NaOH de 10 N y 10 cm de tamaño de partícula

Tabla 1. Matriz de Resultados Experimentales

BLOQUE	Concentración NaOH (mol/l)	Tamaño partícula (cm)	Celulosa (g)
1	5	1,5	4,0021
1	10	10	4,3021
1	5	10	4,0156
1	10	1,5	4,2584
2	5	1,5	4,0130
2	5	10	4,1002
2	10	1,5	4,2671
2	10	10	4,3110
3	5	10	4,1058
3	10	10	4,3245
3	5	1,5	4,0228
3	10	1,5	4,2514

Fuente: Elaboración autor.

Análisis de Varianza para Celulosa

En la tabla 2, se presenta el análisis de varianza para Celulosa, el ANOVA particiona la variabilidad de Celulosa en piezas separadas para cada uno de los efectos. entonces prueba la significancia estadística de cada efecto comparando su cuadrado medio contra un estimado del error experimental. En este caso, 2 efectos tienen un valor-P menor que 0,05, indicando que son significativamente diferentes de cero con un nivel de confianza del 95,0%.

Tabla 2. Análisis de Varianza para Celulosa

Fuente	Suma de Cuadrados	G	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: Concentración NaOH	0,176419	1	0,176419	321,64	0,0000
B: Tamaño partícula	0,00988428	1	0,00988428	18,02	0,0054
AB	0,0000440833	1	0,0000440833	0,08	0,7863
bloques	0,00240979	2	0,0012049	2,20	0,1924

Error total	0,00329097	6	0,000548495		
Total (corr.)	0,192048	11			

Fuente: elaboración propia

Coefficiente de regresión para celulosa

En la tabla 3 se presenta el coeficiente de regresión para celulosa.

Tabla 3. Coeficiente de regresión para Tensión Eléctrica

Coeficiente	Estimado
constante	3,75414
A: Concentración NaOH	0,0495373
B: Tamaño partícula	0,00810588
AB	-0,000180392

Fuente: elaboración propia

Fuente: elaboración propia

Celulosa	=	3,75414	+
0,0495373*Concentración NaOH			+
0,00810588*Tamaño partícula			-
0,000180392*Concentración NaOH*Tamaño partícula			

Optimización de la Respuesta

En la tabla 4, se muestra la combinación de los niveles de los factores, la cual maximiza los valores de celulosa sobre la región indicada.

Optimizar Respuesta

Meta: maximizar Celulosa

Valor óptimo = 4,31253

Tabla 4. Optimización

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
Concentración NaOH	5,0	10,0	10,0
Tamaño partícula	1,5	10,0	10,0

Fuente: Elaboración autor

Diagrama de Pareto Estandarizado

En la figura 9, se presenta el Diagrama de Pareto Estandarizada para celulosa, como se observa, el tamaño de partícula y concentración de NaOH son significativos, por

lo cual dichos factores deben conservarse en el modelo matemático empírico.

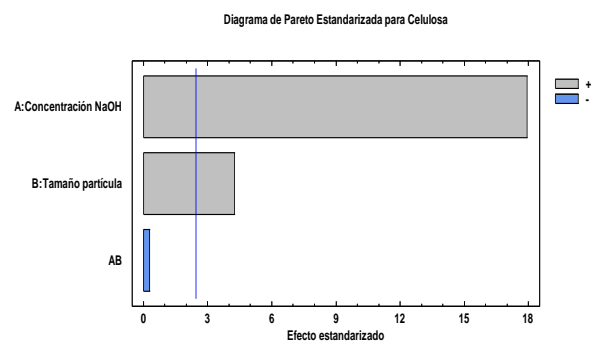


Figura 9. Pareto Estandarizada para celulosa

Superficie de Respuesta Estimada

En la figura 10, se presenta la Superficie de Respuesta Estimada para celulosa, en la cual se puede observar que el punto máximo de celulosa equivalente a 4,31253 g se logra con 10 cm de tamaño de partícula y 10 N de concentración de NaOH.

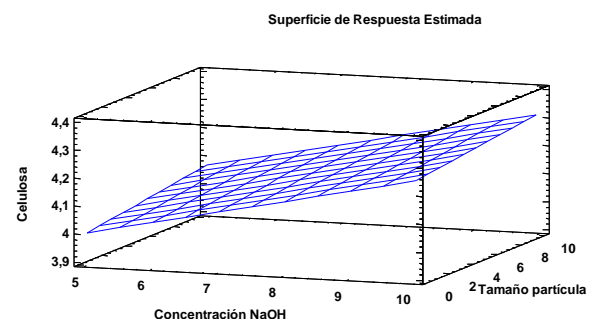


Figura 10. Superficie de Respuesta Estimada

CONCLUSIONES

Se desarrolla un proceso para la producción de celulosa de abacá y se logra un óptimo de celulosa igual a 4,31253 g con 10 cm de tamaño de partícula y 10 N de concentración de NaOH.

AGRADECIMIENTO

Los autores agradecen al Centro Ecuatoriano de Biotecnología del Ambiente y Universidad Central de Ecuador, por su cooperación en la realización de esta investigación.

REFERENCIAS BIBLIGRÁFICAS

- (Zhao et al., 2020) → Presento la idea^{Error! No se encuentra el origen de la referencia.}
- Álvarez Castillo, N. Elizabeth. G. C. D. F. (n.d.). *DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA VIDA Y LA AGRICULTURA CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA : "ESTUDIO DE LA CINÉTICA DEL CRECIMIENTO EN EL PROCESO FERMENTATIVO DEL ABACA.*
- Cárdenas Veliz, J. E. (n.d.). *ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD DE LA EXPORTACIÓN DE LA FIBRA NATURAL DE ABACÁ HACIA EL REINO UNIDO.*
- FAO. (n.d.). *Future Fibres: Abacá.* Organización de Las Naciones Unidas Para La Alimentación y La Agricultura. Retrieved February 14, 2024, from <https://www.fao.org/economic/futurefibres/fibres/abaca0/es/>
- Sivasankar, G. A., Arun Karthick, P., Boopathi, C., Brindha, S., Nirmalraj, R. J. T., & Benham, A. (2023). Evaluation and comparison on mechanical properties of abaca and hemp fiber reinforced hybrid epoxy resin composites. *Materials Today: Proceedings.* <https://doi.org/10.1016/J.MATPR.2023.04.400>
- Terán L. (n.d.). *Fibra del abaca - UNIVERSIDAD EQUINOCCIAL FACULTAD DE ARTES Y HUMANIDADES CARRERA DE DE MODAS. Ensayo acerca de la fibra de abacá.* Retrieved February 14, 2024, from <https://www.studocu.com/ec/document/universidad-ute/ambiental/fibra-del-abaca/3043957>
- Zhao, H., Yu, R., Qiao, H., & Liu, C. (2020). Study on the Formation of Glycine by Hydantoin and Its Kinetics. *ACS Omega*, 5(23), 13463–13472. <https://doi.org/10.1021/acsomega.9b03868>

Información de revisión por pares: Revista Biorrefinería agradece a los revisores anónimos por su contribución a la revisión por pares de este trabajo utilizando <https://reviewerlocator.webofscience.com/>.

Acceso abierto: Todos los artículos publicados por Revista Biorrefinería son accesibles en línea de forma gratuita y permanente inmediatamente después de su publicación, sin cargos de suscripción ni barreras de registro.

Nota del Editor: Revista Biorrefinería se mantiene neutral con respecto a reclamos jurisdiccionales en mapas publicados y afiliaciones institucionales.

Copyright: © 2024 por los autores. Presentado para posible publicación en acceso abierto bajo los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Attribution (CC BY) (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).