

# **CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA Y PRETRATAMIENTO DE LOS FOLIOLOS DE PALMA AFRICANA DE ACEITE (*Elaeis Guineensis*) COMO BIOMASA CON POTENCIAL PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOETANOL DE SEGUNDA GENERACIÓN**

## **1 INTRODUCCIÓN**

El incremento en la demanda energética mundial ha intensificado la explotación de combustibles fósiles, cuya extracción y transformación generan emisiones de gases de efecto invernadero y agravan el calentamiento global (GIL, 2021). Dada la naturaleza limitada y no renovable de estas fuentes, se hace imprescindible investigar alternativas sostenibles. En este sentido, la biomasa se ha consolidado como una de las opciones más prometedoras para reemplazar los combustibles fósiles (ISIKGOR et al., 2015). En Colombia, la matriz energética primaria depende principalmente del sector minero-energético y presenta baja productividad en el aprovechamiento de biomásas, lo que resalta la necesidad de avanzar en la transición energética con miras a alcanzar la neutralidad climática en 2050 (MINISTERIO DE CIENCIA, 2023).

La palmicultura constituye un sector estratégico, con 596.217 hectáreas sembradas en 2023, de las cuales el 45,6% se localiza en la Zona Oriental (FEDEPALMA, 2023). Entre los residuos generados se encuentra la hoja de palma africana (HPA), compuesta por pecíolo, raquis y folíolos. Estos últimos representan una fuente abundante de biomasa lignocelulósica, cuyo inadecuado manejo puede ocasionar impactos ambientales como la acumulación de desechos y la generación de gases de efecto invernadero, lo que subraya la necesidad de encontrar soluciones sostenibles para su valorización. El aprovechamiento de la HPA, específicamente del folíolo para la obtención de bioetanol, se presenta como una oportunidad para darle una utilidad a este residuo y de esa forma impulsar el cambio hacia un modelo energético más sostenible en el país.

El bioetanol, obtenido mediante fermentación de azúcares o por procesos enzimáticos a partir de celulosa, se posiciona como un biocombustible renovable con potencial de diversificar la matriz energética (SOLAR et al., 2023). En este contexto, el presente trabajo se enfoca en la caracterización fisicoquímica de los folíolos de palma de aceite y en la aplicación de dos tipos de pretratamientos, con el propósito de evaluar su potencial en la purificación de la celulosa.

## **2 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA**

El aprovechamiento de los folíolos de palma para la obtención de bioetanol representa una alternativa de valorización de residuos agrícolas. Al tratarse de un material lignocelulósico constituido principalmente por lignina, celulosa y hemicelulosa, estos componentes, en especial la celulosa y la hemicelulosa, constituyen las fuentes primarias para la generación de azúcares fermentables (DÍAZ, 2007). Su valorización en el municipio del Zulia permitiría agregar valor a un subproducto de la industria palmera, favoreciendo el acceso a energías renovables y sostenibles, así como la reducción de impactos ambientales. Además, esta estrategia contribuiría al desarrollo socioeconómico mediante la generación de empleo en sectores agrícola e industrial, al tiempo que fomenta el uso de biocombustibles en línea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible relacionados con producción y consumo responsables, ciudades sostenibles y energía asequible y no contaminante (ODS, 2021).

### **3 METODOLOGÍA**

#### **3.1 CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE LOS FOLIOLOS DE LA PALMA**

La caracterización físicoquímica se realizó siguiendo la metodología de las normas Tappi y ASTM, que se detallan a continuación.

##### **3.1.1 Humedad y Cenizas**

Para la determinación de humedad se utilizaron 3 cápsulas de porcelana taradas a  $105 \pm 3^\circ\text{C}$ , se agregaron las muestras de foliolo de HPA previamente trituradas y tamizadas a malla N° 40 las cuales pesaron 2,0001, 2,0004 y 2,0000 gramos, se secaron en estufa durante 24 horas a  $105 \pm 3^\circ\text{C}$ , posteriormente se dejaron enfriar en un desecador y se pesaron. Para las cenizas se agregaron las muestras secas empleada en la determinación de humedad en 3 crisoles tarados y se llevaron a la mufla a  $575 \pm 25^\circ\text{C}$  durante 3 horas.

##### **3.1.2 Determinación de Extraíbles**

Se pesaron 10,0000 g de foliolos molidos y tamizados a malla N°40, se llevaron a un extractor Soxhlet. Como solvente se usó una mezcla de 50 mL de etanol y 100 mL de N-hexano (Mezcla 1:2 v/v). Se realizaron extracciones hasta que no se apreciara coloración en el sifón, en total fueron 24 extracciones. Posteriormente se retiró el cartucho y se extendió el residuo para dejarlo secar a temperatura ambiente (HONORATO et al., 2016).

##### **3.1.3 Determinación de holocelulosa**

Se pesaron 5,0000 g de muestra de foliolo libre de extraíbles y se agregó en un vaso de precipitado de 250 mL, se adiciono 160 mL de agua destilada y se colocó el vaso en baño maría a  $75^\circ\text{C}$ . Una vez alcanzada la temperatura se añadieron 10 gotas de ácido acético glacial concentrado ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) y 1.5 g de clorito sódico ( $\text{NaClO}_2$ ) y se dejó en reposo por 1 hora, este proceso se repitió tres veces cada hora hasta que la muestra se observó blanca. Finalmente, el residuo se filtró al vacío y se lavó con agua fría hasta quedar libre de sodio. Se secó en la estufa a  $105^\circ\text{C}$  por 24h y se enfrió en un desecador (TORRES, 2015).

##### **3.1.4 Determinación de Celulosa y hemicelulosa**

Se pesaron 3,0000 g de muestra de foliolo, se agregó a un vaso de precipitado de 250 mL colocado en un baño maría a  $20^\circ\text{C}$ . Se midió 75 mL de solución de NaOH al 17,5 % y se añadió siguiendo el procedimiento de la norma NTC 697. El residuo final de filtro y se secó en la estufa a  $105 \pm 3^\circ\text{C}$ . El porcentaje de hemicelulosa se determinó por diferencia entre porcentaje de celulosa y el porcentaje de holocelulosa.

##### **3.1.5 Determinación de Lignina**

El contenido de lignina se determinó siguiendo la metodología del método de KLASON, para ello se pesó 1,0000 g de muestra seca libre de extraíbles y se utilizó como reactivo  $\text{H}_2\text{SO}_4$  al 72% m/m. El residuo final se filtró y se lavó con agua caliente hasta quedar libre de ácido, se secó en la estufa durante 4 h a  $105^\circ\text{C}$ . (TORRES, 2015; GUERRERO, 2007).

### **3.2 Pretratamiento de la muestra**

Se llevó a cabo una comparación entre un pretratamiento químico y un pretratamiento físico-químico, con el fin de evaluar con cuál de estos métodos se obtiene mayor porcentaje de remoción de lignina.

#### **3.2.1 Pretratamiento por ultrasonido**

Para este pretratamiento se pesaron 6,00 g de muestra y se mezclaron con 120 mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> al 0,05 % m/v (relación sólido /líquido: 1:20). La reacción se llevó a cabo en un equipo ultrasónico a 49°C durante 52 min y una frecuencia de 35 kHz. Posteriormente, la solución se filtró para separar los sólidos, se lavó con agua destilada hasta pH neutro y luego se secó en estufa a 60°C durante 48 h hasta masa constante (SANGADJI et al., 2024).

#### **3.2.2 Pretratamiento con hidróxido de sodio (NaOH)**

En este pretratamiento se pesó 20 g de muestra y se sumergió en 160 mL (relación 1:8) de solución de NaOH al 2 M durante 2 horas con agitación constante a una temperatura de 80°C. Seguidamente se procedió a filtrar y a realizar lavados con agua destilada caliente hasta pH neutro, con el fin de que no queden residuos de NaOH que puedan afectar la hidrólisis, finalmente se secó en estufa a 50°C durante 24 h (CAMPO; BEJARANO, 2022).

## **4 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

### **4.1 Caracterización de los foliolo de la HPA**

La caracterización fisicoquímica del foliolo de palma de aceite (HPA) son detallados en la Tabla 1. La caracterización mostró un contenido de holocelulosa de 57,49 %, valor inferior al 75,26 % registrado por Zakaria et al. (2021) para la fronda completa de la palma de aceite, esta diferencia se debe a que la fronda entera contiene una proporción mayor de tejido fibroso y lignocelulósico, particularmente en el raquis. El contenido de celulosa, hemicelulosa y lignina en los foliolo de HPA fue de 31,28 %, 26,21 % y 37,87 %, respectivamente. Estos valores difieren de los obtenidos en otras estructuras. Por ejemplo, Mustaza et al. (2025) evaluaron la fibra y obtuvieron 30,44% de celulosa, 21,41% de hemicelulosa y 21,49% de lignina. Zakaria et al. (2021) reportaron valores superiores de celulosa (39,95%) y hemicelulosa (35,32%), pero un contenido de lignina significativamente menor (19,93%). Por su parte, Wulan et al. (2024) estudiaron los frutos vacíos y encontraron porcentajes de celulosa, hemicelulosa y lignina de 30,73%, 27,04% y 27,54%, respectivamente.

Las diferencias observadas entre los resultados se relacionan con la naturaleza de cada una de las partes de la palma analizadas. Cada estructura vegetal posee una composición química particular, influenciada por su función biológica, grado de lignificación y contenido de tejido estructural (MOHAMMED et al., 2011). Además, factores como la especie de palma, el estado de madurez del material vegetal y las metodologías analíticas utilizadas también pueden incidir en las variaciones reportadas.

Tabla 1 - Composición fisicoquímica de los foliolos de la HPA (*Elaeis guineensis*)

Parámetro (%m/m)	Ensayos (réplicas %)	Promedio (%)	Desviación estándar	Coefficiente de variación (%)
<b>Humedad</b>	27,17	25,47	2,16	0,08
	26,20			
	23,03			
<b>Cenizas</b>	13,03	12,95	0,093	0,007
	12,85			
	12,98			
<b>Extraíbles</b>	6,99	5,26	1,62	0,30
	5,00			
	3,79			
<b>Holocelulosa</b>	61,83	57,49	3,86	0,067
	56,20			
	54,43			
<b>Celulosa</b>	36,00	31,28	4,09	0,13
	28,85			
	28,98			
<b>Hemicelulosa</b>	25,83	26,21	1,29	0,05
	27,85			
	25,45			
<b>Lignina</b>	39,25	37,87	2,59	0,06
	34,88			
	39,48			

Fuente: autores.

## 4.2 Pretratamiento de los foliolos

El pretratamiento alcalino con NaOH demostró ser más efectivo para la remoción de lignina en los foliolos, como se evidencia en la Tabla 2. Este método permitió alcanzar un contenido de lignina de 9,13%, lo que representa una reducción del 75,89% en comparación con la muestra sin pretratar. Estos resultados son significativamente superiores a los obtenidos por Ihsan (2022), quien reportó una remoción de lignina del 38,65% en frutos vacíos. La diferencia puede atribuirse a la estructura más frágil y porosa de los foliolos, que facilita una mayor penetración del agente químico en comparación con la densidad del fruto vacío. Además de la eficiente deslignificación, el pretratamiento con NaOH generó un incremento notable en

la pureza de la celulosa, la cual alcanzó un contenido del 76,59%. Este aumento en la pureza es crucial para optimizar las etapas posteriores de hidrólisis y fermentación en la producción de bioetanol.

Tabla 2 - Efecto de los pretratamientos de Ultrasonido y con NaOH en la remoción de Lignina

Parámetro (% m/m)	% Lignina por triplicado	% Lignina Promedio	Desviación estándar	Coefficiente de variación (%)	Reducción del % lignina
<b>Lignina pretratada por ultrasonido</b>	32,16	31,17	1,00	0,032	17,69
	31,20				
	30,15				
<b>Lignina pretratada con NaOH</b>	7,36	9,13	1,62	0,177	75,89
	9,47				
	10,55				

Fuente: autores.

## 5 CONSIDERACIONES FINALES

Los resultados del estudio indican que los foliolos de la HPA presentan un alto potencial como materia prima lignocelulósica para la producción de bioetanol de segunda generación, especialmente cuando se aplica un pretratamiento alcalino. El tratamiento con NaOH logró reducir el contenido de lignina desde 37,87 % (muestra sin pretratar) hasta niveles promedio cercanos a 9,13 %, lo que supone una remoción de lignina del 75,89 % y permitió alcanzar una pureza de celulosa del 76,59 %, resultados que superan ampliamente al pretratamiento por ultrasonido en este trabajo. Estas evidencias sugieren que la vía alcalina es prometedora para mejorar la accesibilidad enzimática y, por ende, la eficiencia de las etapas de hidrólisis y fermentación para la obtención del bioetanol.

## REFERENCIAS

CAMPO, D. E.; BEJARANO MONTES, D. C. Evaluación de métodos de extracción para la obtención de azúcares a partir de la cascarilla de arroz Paddy. 2022. Recuperado de: [https://ciencia.lasalle.edu.co/ing\\_alimentos/744](https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_alimentos/744)

DÍAZ, D. P. Hidrólisis enzimática de la tusa de la palma de aceite (*elaeis guineensis*) pretratada con ácido sulfúrico diluido para la producción de azúcares fermentables. 2007.

FEDEPALMA. Federación nacional de cultivadores de palma de aceite-informe de gestión. 2023. Recuperado de: [/https://fedepalma.org/fede\\_content/uploads/2024/06/AEDIT\\_DGT\\_Informe\\_de\\_Gestion.pdf](https://fedepalma.org/fede_content/uploads/2024/06/AEDIT_DGT_Informe_de_Gestion.pdf)

GIL, A. Current insights into lignocellulose related waste valorization. **Chemical Engineering Journal Advances**, v.8, 100186, 2021.

GUERRERO, C. M. Exploración de la factibilidad del aprovechamiento de los residuos de la extracción de aceite de palma para convertirlos en azúcares fermentables. 2007.

HONORATO SALAZAR, J. A.; HERNÁNDEZ PÉREZ, J. Determinación de componentes químicos de la madera de cinco especies de encino del estado de Puebla. **Madera y Bosques**, v. 4, n. 2, p. 79–93, 2016. <https://doi.org/10.21829/myb.1998.421361>

IHSAN, D. M. OPTIMASI DELIGNIFIKASI TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT MENGGUNAKAN BATCH LAB-SCALE DAN EKSTRAKSI PADA REAKTOR KONTINU UNTUK PRODUKSI BIOETANOL. Universidad Islamica Estatal Syarif Hidayatullah Jakarta. 2022.

ISIKGOR, F. H.; BECER, C. R. Lignocellulosic biomass: a sustainable platform for the production of bio-based chemicals and polymers. **Polymer chemistry**, v. 6, n. 25, p. 4497-4559, 2015.

MINISTERIO DE CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN. Políticas de investigación e innovación orientadas por misiones. 2023. Recuperado de: [minciencias.gov.co/sites/default/files/upload/noticias/3\\_documento\\_de\\_politica\\_transicion\\_energetica.pdf](https://minciencias.gov.co/sites/default/files/upload/noticias/3_documento_de_politica_transicion_energetica.pdf).

MOHAMMED, M. A. A.; SALMIATON, A.; WAN AZLINA, W. A. K. G.; MOHAMMAD AMRAN, M. S.; FAKHRU'L-RAZI, A.; TAUFIQ-YAP, Y. H. Hydrogen rich gas from oil palm biomass as a potential source of renewable energy in Malaysia. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 15, n.2, p. 1258–1270, 2011. <https://doi:10.1016/j.rser.2010.10.003>

MUSTAZA, A.; JUMAIDIN, R.; TAHA, M.; AZIZ, A. R. Thermal Properties and Characterization of Natural Cellulosic Fiber Isolated from Malaysian Oil Palm Leaf (*Elaeis guineensis*). **Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences**, v. 129, n. 1, p. 136–153, 2025. <https://doi.org/10.37934/arfmts.129.1.136153>

ODS. Objetivos de Desarrollo Sostenible. Pacto Mundial. 2021. <https://www.pactomundial.org/que-puedes-hacer-tu/ods/>

SANGADJI, N. L.; WIJAYA, C.; SANGIAN, H. F.; WIDJAJA, A. Optimization of Ultrasound-enhanced Subcritical Water Hydrolysis of Oil Palm Empty Fruit Bunch for the Production of Fermentable Sugar. **Periodica Polytechnica Chemical Engineering**, v. 68, n.2, p.203-215, 2024.

SOLAR, L. A. P.; GAMBOA, A. G.; MÉNDEZ, N. T.; RAMOS, C. R.; DE LA FUENTE MORALES, E.; SÁNCHEZ, M. G.; CEDILLO, L. S. P. Producción de Bioetanol a partir de Residuos Orgánicos con alto valor calórico. **Química Hoy**, v. 12, n.2, p. 56-66, 2023.

TORRES, R. Caracterización fisicoquímica de residuos agrícolas del Valle de Mexicali. 2015.

WULAN, P. P. D. K.; SYABILA, A. N.; HANDAYANI, A. S. Sustainable extraction of cellulose nanocrystals from empty palm oil bunches via low-acid hydrolysis. **Results in Engineering**, v. 24, 103012, 2024.

ZAKARIA, R.; BAWON, P.; LEE, S. H.; SALIM, S.; LUM, W. C.; AL-EDRUS, S. S. O.; IBRAHIM, Z. Properties of Particleboard from Oil Palm Biomasses Bonded with Citric Acid and Tapioca Starch. **Polymers**, v. 13, n. 20, 3494, 2021. <https://doi.org/10.3390/polym13203494>