



Caracterización física y química: biomasa residual de la palma (*Elaeis guineensis* Jacq.) en la Amazonia peruana¹

Physical and chemical characterization of residual palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) biomass in the Peruvian Amazon

Jessica Yanina Neyra-Vasquez², Grober Panduro-Pisco^{2,3}, Edgar Juan Díaz-Zúñiga², José Iannacone^{4,5}

¹ Recepción: 23 de agosto, 2021. Aceptación: 26 de enero, 2022. Este trabajo formó parte de la tesis de título profesional del primer autor en la Universidad Nacional de Ucayali, Pucallpa, Perú, y se desarrolló en el marco del proyecto Mejoramiento y Ampliación de los Servicios del Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e innovación Tecnológica – SINACYT y, con Contrato N° 99-2018- FONDECYT-BM-IADT-MU, fue ejecutado por CONCYTEC-FONDECYT.

² Universidad Nacional de Ucayali, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Pucallpa, Perú. neyravas@gmail.com (<https://orcid.org/0000-0001-8167-9526>); grober_panduro@unu.edu.pe (<https://orcid.org/0000-0001-7050-8449>); edgar_diaz@unu.edu.pe (<https://orcid.org/0000-0003-4583-4431>).

³ Negocios Amazónicos Sustentables EIRL, Pucallpa, Perú. ecologrober2012@hotmail.com (<https://orcid.org/0000-0001-7050-8449>).

⁴ Universidad Científica del Sur, Laboratorio de Ingeniería Ambiental, Facultad de Ciencias Ambientales, Lima, Perú. joseiannaconeoliver@gmail.com (autor para la correspondencia, <https://orcid.org/0000-0003-3699-4732>).

⁵ Universidad Nacional Federico Villarreal, Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas, Grupo de Investigación en Sostenibilidad Ambiental (GISA), Laboratorio de Ecología y Biodiversidad Animal (LEBA), Lima, Perú.

Resumen

Introducción. La palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.) en la Amazonia peruana tiene un área instalada en producción de 72 861 ha, cuyo procesamiento del fruto genera residuos sólidos como el escobajo y el mesocarpio secos. **Objetivo.** Determinar las características fisicoquímicas de la biomasa residual, escobajo y fibra del fruto, de la extracción de aceite de palma en la Amazonia peruana, para su potencial uso en la elaboración de materiales biodegradables. **Materiales y métodos.** Durante agosto a octubre del 2020, se recolectaron 19,39 t/día de escobajo y 13,05 t/día de fibra del fruto de la palma aceitera en Pucallpa, Distrito de Neshuya, Perú. Los análisis de solubilidad en agua caliente y humedad se determinaron mediante la prueba estándar americana (American Society for Testing and Materials). La solubilidad en soda, se obtuvo mediante el estándar de *Technical Association of the Pulp and Paper Industry*. Para la determinación de la celulosa, hemicelulosa y lignina, se empleó la cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) y detector de índice de refracción (RI). **Resultados.** Las propiedades físicas de humedad (%) y solubilidad en soda (%) no presentaron diferencias entre el escobajo y la fibra. El escobajo y la fibra presentaron solubilidad en agua caliente con valores inferiores al 17 %. Las propiedades químicas en la fibra fueron mayores que en el escobajo, en base al porcentaje de celulosa, hemicelulosa y lignina. **Conclusiones.** Los resultados físicos y químicos del escobajo y de la fibra del fruto de palma aceitera, permitirían el desarrollo de procesos tecnológicos adecuados para su conversión a productos biológicos.

Palabras clave: celulosa, hemicelulosa, ligninas, solubilidad, humedad.



Abstract

Introduction. The oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) in the Peruvian Amazon has an installed production area of 72,861 ha, whose fruit processing generates solid residues such as the stalk and dry mesocarp. **Objective.** To determine the physicochemical characteristics of the residual biomass, stalk, and fruit fiber from palm oil extraction in the Peruvian Amazon, for its potential use in the elaboration of biodegradable materials. **Materials and methods.** During August to October 2020, 19.39 t/day of stalk and 13.05 t/day of oil palm fruit fiber were collected in Pucallpa, Neshuya District, Peru. Solubility analyzes in hot water and moisture were determined using the American standard test (American Society for Testing and Materials). The solubility in soda was obtained using the Technical Association of the Pulp and Paper Industry standard method. High performance liquid chromatography (HPLC) and refractive index (RI) detector were used to determine cellulose, hemicellulose, and lignin. **Results.** The physical properties of moisture (%) and solubility in soda (%) showed no differences between stalk and fiber. Both stalk and the fiber showed solubility in hot water, with values lower than 17 %. The chemical properties of the fiber were higher than those in the stalk, based on the percentage of cellulose, hemicellulose, and lignin. **Conclusions.** The physical and chemical results of oil palm stalk and fruit fiber would allow the development of appropriate technological processes for their conversion to biological products.

Keywords: cellulose, hemicellulose, lignins, solubility, moisture.

Introducción

Los residuos provenientes de la agroindustria de la palma aceitera son una preocupación a nivel mundial. La disposición final de estos residuos se realiza en espacios al aire libre o en cuerpos de agua. Un aprovechamiento adecuado de estos residuos tiene un impacto positivo en la productividad agrícola y en la fertilidad del suelo. El compostaje genera un producto útil biodegradable que mejora la calidad física, química y biológica del suelo (Ali et al., 2020; Hernández-Cázares et al., 2016).

El proceso industrial de la palma aceitera, que se desarrolla en América Latina, produce de un 30 % a un 40 % de residuos sólidos. Estos pueden ser utilizados de forma parcial en la alimentación animal, así como ser aprovechados como combustible. Sin embargo, gran parte de estos residuos no cuenta con un manejo adecuado (Ramos Sevilla, 2017; Woittiez et al., 2017). La producción y el uso sostenible de productos elaborados a partir de la biomasa residual de la agroindustria de la palma aceitera, buscan resolver los problemas asociados a la contaminación del agua que ella produce y que altera las condiciones normales de los ecosistemas amazónicos y del aire, por su putrefacción no controlada; al mismo tiempo que se crean productos sostenibles (Ali et al., 2020; Galiwango et al., 2019; Ortiz-Serna et al., 2020; Sakeri et al., 2020; Yahayu et al., 2018).

Al año 2019, en el Perú se ha registrado una producción de palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.) de 72 861 ha (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 2019). El país ocupa el séptimo lugar a nivel latinoamericano en la producción de este cultivo (IndexMundi, 2021). La producción de palma aceitera se encuentra en las regiones amazónicas del Perú, con un amplio potencial de crecimiento. Le corresponde a la región Ucayali el 38 % del territorio peruano de este cultivo (Ministerio de Agricultura y Riego, 2019). En esta región existen diez plantas extractoras de aceite crudo de palma, de las cuales Oleaginosa Amazónica SA (OLAMSA) es una de las empresas más grandes.

Se estima que durante la extracción del aceite de palma, el escobajo y la fibra del fruto representan el 20,2 % y 13,6 % de los residuos producidos, respectivamente (Miranda Ruiz, 2012; Ramírez et al., 2015; Sociedad Peruana

de Ecodesarrollo, 2018). El escobajo se genera en el proceso de presurizado y despojado durante la extracción del fruto, mientras que la fibra del proceso de extracción del aceite del fruto (Ali et al., 2020; Awalludin et al., 2015).

La caracterización física se presenta como un condicionante en los procesos de producción de biomateriales, y debe tenerse muy en cuenta en la extracción de celulosa (González Velandia et al., 2016). Las características químicas de estos residuos agroindustriales de la extracción del aceite de palma, presentan en su mayoría una biomasa lignocelulósica (Ali et al., 2020; Sánchez Riaño et al., 2010). Su composición varía entre 10 % y 25 % de lignina, 20 % y 30 % de hemicelulosa (Fortunati & Balesta, 2019) y de 30 % a 50 % de celulosa (Dharmaraja et al., 2020). Los valores químicos de celulosa óptimos en el escobajo y en la fibra del fruto de la palma aceitera, deben ser mayores al 30 % y cercanos a los provenientes de las fuentes maderables (entre 40 a 50 %) (Arévalo Vergel et al., 2019; Serrano-Ruiz et al., 2021; Zhang et al., 2021). La conversión de estos residuos en productos biológicos, puede ayudar a desarrollar bioproductos con beneficios económicos y ambientales (Rana et al., 2021).

La cantidad presente de lignina en el escobajo y en la fibra del fruto de la palma aceitera, requiere ser reducida, y para permitir que las fibras sean capaces de adherirse (González Velandia et al., 2016). Para reducir el contenido de lignina, es necesario emplear procesos más específicos como protocolos de mezclas de baja temperatura de transición (LTTM, por sus siglas en inglés). Este proceso se realiza a partir de una combinación de ácido málico obtenido de cactáceas, como un enfoque de deslignificación verde para fibras de palma aceitera (Loong et al., 2019; Mohamad Ibrahim et al., 2004).

El objetivo de la presente investigación fue determinar las características fisicoquímicas de la biomasa residual, escobajo y fibra del fruto, de la extracción de aceite de palma en la Amazonia peruana para su potencial uso en la elaboración de materiales biodegradables.

Materiales y métodos

Sitio de estudio

La empresa agroindustrial INDOLMA S.A, en la que se llevó a cabo la investigación, se ubica en el km 62 de la carretera Federico Basadre en las coordenadas 8° 38'46.98" LS, 74° 36'39.78" LW, distrito de Neshuya, Región Ucayali, Perú. El estudio se realizó durante agosto a octubre del 2020.

Muestras

Se recolectaron muestras de escobajo, que es biomasa residual obtenida de la remoción de frutos del racimo de fruta fresca esterilizado, y de la fibra del fruto fresco, es la biomasa residual obtenida de la extracción del aceite de palma, mediante el prensado del fruto de *E. guineensis* (Figura 1). Las muestras se obtuvieron del proceso de extracción de aceite de palma de la empresa agroindustrial INDOLMA S.A.

Recolección de las muestras

Las muestras recolectadas de escobajo y fibra de palma aceitera, pasaron por un pre-tratamiento, el cual consistió en un proceso de triturado y posterior vertido en forma separada en espacios abiertos. Se eliminó cualquier resto extraño y se secó al aire libre por 24 h (Pereira et al., 2020). Antes de realizar los análisis de laboratorio, se almacenaron en costales de manera separada. Luego, se trasladaron al Laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional de Ucayali, Ucayali, Perú.



Figura 1. Residuos de la extracción de aceite crudo de la palma (ACP) de *Elaeis guinnensis*. A) Escobajo (biomasa residual obtenida de la remoción de frutos del racimo de fruta fresca esterilizado). B) Fibra del fruto (biomasa residual obtenida de la extracción del aceite de palma mediante el prensado del fruto). Fotografías tomadas en la planta de extracción de la empresa agroindustrial INDOLMA S.A., distrito de Neshuya, Ucayali, Perú en agosto del 2020.

Figure 1. Residues from the extraction of crude palm oil (CPA) of *Elaeis guinnensis*. A) Stalk (residual biomass obtained from the removal of fruits from the sterilized fresh fruit bunch). B) Fruit fiber (residual biomass obtained from the extraction of palm oil by pressing the fruit). Photographs taken at the Agroindustrial Company INDOLMA S.A. extraction site, Neshuya district, Ucayali, Peru in August 2020.

Para estimar la cantidad muestral, se procedió a trabajar de acuerdo con el protocolo indicado en la norma de la Technical Association of the Pulp and Paper Industry (2002). Se seleccionaron 60 kg del residuo de escobajo y de fibra del fruto triturados. Se apilaron en un espacio libre, para luego proceder al método del cuarteado; se tomaron las muestras de los extremos. Se formó de nuevo un montículo y se repitió el proceso hasta obtener 5,0 kg de una muestra homogénea. Se tomaron 2,0 kg de esta misma muestra, la cual se selló de forma hermética, para el análisis de la humedad inicial (%) (American Society for Testing and Materials, 2010).

Caracterización física y química

Para el caso de los análisis de solubilidad en agua caliente (%), se empleó una muestra libre de humedad. Se colocaron 2,0 g del residuo cernido (Tamiz ASTM N°45, malla de acero inoxidable de 355 μm) en un matraz de 250 mL. Se añadieron 100 mL de agua destilada, para luego colocarla en un baño de agua en estado de ebullición por un lapso de 3 h. La solución en el matraz estuvo por debajo del nivel de agua en ebullición (American Society for Testing and Materials, 2021a). Para la solubilidad en hidróxido de sodio (soda) se empleó el método de la American Society for Testing and Materials (2021b). Se utilizó el análisis de cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) en columna y detector de índice de refracción (RI), para la cuantificación de la cantidad de celulosa, hemicelulosa y lignina (Loong et al., 2019; Trogen et al., 2021).

Análisis estadístico

Para cada uno de los parámetros se tomaron diez repeticiones por cada uno de los dos tipos de residuos. Los resultados de las propiedades físicas (solubilidad en agua caliente, solubilidad en soda y humedad) y de las propiedades químicas orgánicas (celulosa, hemicelulosa y lignina) para el escobajo y la fibra del fruto de palma aceitera, se sometieron a una evaluación de normalidad, mediante la prueba de Shapiro-Wilks, y a la prueba de Levene para determinar la igualdad de las varianzas.

Se compararon los valores de las propiedades físicas y químicas entre el escobajo y la fibra del fruto. Se empleó la prueba de t de student cuando se cumplieron los requisitos de normalidad y de igualdad de varianza. En aquellos casos en los que no se cumplió uno de estos dos requisitos, se empleó la prueba no paramétrica equivalente de U de Mann-Whitney (Zar, 2019). Todas las pruebas de estadística inferencial se determinaron a un nivel de significancia del 0,05. Para los cálculos se empleó el paquete estadístico SPSS versión 20.0.

Resultados

Propiedades físicas y químicas del escobajo y fibra de palma aceitera

Cuatro de las seis variables analizadas cumplieron los supuestos de normalidad mediante la prueba de Shapiro-Wilks y de homogeneidad de varianzas con la prueba de Levene (Cuadro 1). Solo para la celulosa (%) y para la hemicelulosa (%) no se cumplieron los requisitos para el empleo de la prueba de t de Student. En estos dos casos se usó la prueba de U de Mann-Whitney.

Cuadro 1. Propiedades físicas y químicas del escobajo (biomasa residual obtenida de la remoción de frutos del racimo de fruta fresca esterilizado), y de la fibra (biomasa residual obtenida de la extracción del aceite de palma mediante el prensado del fruto) de la palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.). Laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional de Ucayali (UNU), Ucayali, Perú en octubre del 2020.

Table 1. Physical and chemical properties of the stalk (residual biomass obtained from the removal of fruits from the sterilized fresh fruit cluster) and of the fiber (residual biomass obtained from the extraction of palm oil by pressing the fruit) of the oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.). Soil Laboratory of the Universidad Nacional de Ucayali (UNU), Ucayali, Peru in October 2020.

Variables /Tipo de residuos		Media \pm DE	Shapiro-Wilks	Sig.	Prueba de Levene	Sig.	t de student	Sig.																																																												
Solubilidad en agua caliente (%)	Escobajo	16,90 + 3,18	0,80	0,01	2,48	0,13	2,52	0,02																																																												
	Fibra	14,00 + 1,74	0,73	0,002					Solubilidad en soda (%)	Escobajo	35,20 + 2,44	0,92	0,36	2,91	0,10	0,21	0,83	Fibra	34,80 + 5,42	0,97	0,93	Humedad (%)	Escobajo	17,23 + 3,38	0,95	0,70	2,42	0,13	1,04	0,31	Fibra	18,55 + 2,11	0,90	0,23	Celulosa (%)	Escobajo	32,92 + 0,16	0,93	0,52	11,32	0,003	0*	0,00	Fibra	37,72 + 0,05	0,89	0,18	Hemicelulosa (%)	Escobajo	16,55 + 0,10	0,86	0,09	6,94	0,01	0*	0,00	Fibra	19,38 + 0,04	0,89	0,19	Lignina (%)	Escobajo	22,43 + 0,15	0,95	0,72	2,89	0,10	47,97
Solubilidad en soda (%)	Escobajo	35,20 + 2,44	0,92	0,36	2,91	0,10	0,21	0,83																																																												
	Fibra	34,80 + 5,42	0,97	0,93					Humedad (%)	Escobajo	17,23 + 3,38	0,95	0,70	2,42	0,13	1,04	0,31	Fibra	18,55 + 2,11	0,90	0,23	Celulosa (%)	Escobajo	32,92 + 0,16	0,93	0,52	11,32	0,003	0*	0,00	Fibra	37,72 + 0,05	0,89	0,18	Hemicelulosa (%)	Escobajo	16,55 + 0,10	0,86	0,09	6,94	0,01	0*	0,00	Fibra	19,38 + 0,04	0,89	0,19	Lignina (%)	Escobajo	22,43 + 0,15	0,95	0,72	2,89	0,10	47,97	0,00	Fibra	24,92 + 0,05	0,87	0,10								
Humedad (%)	Escobajo	17,23 + 3,38	0,95	0,70	2,42	0,13	1,04	0,31																																																												
	Fibra	18,55 + 2,11	0,90	0,23					Celulosa (%)	Escobajo	32,92 + 0,16	0,93	0,52	11,32	0,003	0*	0,00	Fibra	37,72 + 0,05	0,89	0,18	Hemicelulosa (%)	Escobajo	16,55 + 0,10	0,86	0,09	6,94	0,01	0*	0,00	Fibra	19,38 + 0,04	0,89	0,19	Lignina (%)	Escobajo	22,43 + 0,15	0,95	0,72	2,89	0,10	47,97	0,00	Fibra	24,92 + 0,05	0,87	0,10																					
Celulosa (%)	Escobajo	32,92 + 0,16	0,93	0,52	11,32	0,003	0*	0,00																																																												
	Fibra	37,72 + 0,05	0,89	0,18					Hemicelulosa (%)	Escobajo	16,55 + 0,10	0,86	0,09	6,94	0,01	0*	0,00	Fibra	19,38 + 0,04	0,89	0,19	Lignina (%)	Escobajo	22,43 + 0,15	0,95	0,72	2,89	0,10	47,97	0,00	Fibra	24,92 + 0,05	0,87	0,10																																		
Hemicelulosa (%)	Escobajo	16,55 + 0,10	0,86	0,09	6,94	0,01	0*	0,00																																																												
	Fibra	19,38 + 0,04	0,89	0,19					Lignina (%)	Escobajo	22,43 + 0,15	0,95	0,72	2,89	0,10	47,97	0,00	Fibra	24,92 + 0,05	0,87	0,10																																															
Lignina (%)	Escobajo	22,43 + 0,15	0,95	0,72	2,89	0,10	47,97	0,00																																																												
	Fibra	24,92 + 0,05	0,87	0,10																																																																

DE = Desviación estándar. Sig= significancia. * Valor de U de Mann-Whitney. n= 10 para todos los casos. / SD = Standard deviation. Sig = significancia. * Mann-Whitney U value. n = 10 for all cases.

Con respecto a las propiedades físicas para la humedad (%) y para la solubilidad en soda (%), no se presentaron diferencias entre el escobajo y la fibra del fruto de los residuos de la palma aceitera. La solubilidad en agua caliente del escobajo fue mayor que la de la fibra del fruto. El contenido de humedad fue de $17,23 \pm 3,38$ % para el escobajo y $18,55 \pm 2,11$ % para la fibra de palma aceitera.

Para el caso de la celulosa (%), hemicelulosa (%) y lignina (%) se obtuvieron mayores valores en la fibra que en el escobajo (Cuadro 1).

Discusión

Los valores obtenidos en el presente trabajo estuvieron por debajo del valor recomendado máximo de 31 %. El contenido de humedad minimiza su rápida degradación por presencia y proliferación de microorganismos. Este influye en el ablandamiento y estabilidad de la pulpa del fruto (Puello & Zabaleta, 2014).

La determinación de humedad es importante, debido a su relevancia al momento de elaborar materiales biodegradables. Los residuos deben pasar por un protocolo de secado para evitar fallas prematuras en los materiales a elaborar, debido a la degradación de las cadenas de polímeros a través de la hidrólisis (Bozzelli, 2017).

El escobajo y la fibra presentaron valores de solubilidad en agua caliente inferiores al 17 %. Estos datos indican que no se disuelven con facilidad. Existen biomásas que se deshacen al contacto con el agua a caliente que facilita el tratamiento de la pulpa, en comparación con lo registrado en la literatura (Onuorah et al., 2015). Se ha observado valores sobre el 2,9 % presentes en el escobajo en comparación a la fibra del fruto. Sin embargo, los valores deben observarse junto con el contenido de lignina, ya que se busca eliminar los componentes no celulósicos. Esto facilita la adhesión de las fibras en la elaboración de envases biodegradables (González Velandia et al., 2016).

Los valores de solubilidad en soda en el escobajo fueron de $35,20 \pm 2,44$ % y en las fibras del fruto de $34,80 \pm 5,42$ %. Estos porcentajes fueron superiores al 30 %, lo que coincide con lo descrito en la literatura para el escobajo (Hashim et al., 2020). Los resultados de solubilidad de los carbohidratos al hidróxido de sodio sugieren que el escobajo y la fibra de la palma aceitera podría servir de sustrato para los hongos. A mayor solubilidad de los carbohidratos en el hidróxido de sodio, mayor es el ataque de hongos (Technical Association of the Pulp and Paper Industry, 2002).

Las fibras, que presentaron un mayor contenido de celulosa, demuestran propiedades mecánicas adecuadas para los materiales biodegradables (Afzal et al., 2021).

Al comparar la caracterización química en base a la celulosa, hemicelulosa y lignina entre la fibra del fruto y el escobajo, se observó, que la primera fue mayor. La presencia de componentes químicos varía según tipo de tejido y se encuentra en mayor concentración en la fibra del fruto. Esto es debido a que las paredes celulares de las semillas están más engrosadas por la acumulación lignocelulósica, al servir como almacenamiento de las semillas (Vibe Scheller & Ulvskov, 2010).

El contenido de celulosa en la fibra del fruto fue de $37,72 \pm 0,05$ % y en el escobajo fue de $32,92 \pm 0,16$ %. Los valores de la fibra del fruto fueron superiores en un 14 % a lo encontrado en el escobajo. Registros similares para el escobajo fueron observados por Pretell & Erazo (2019) y Ng et al. (2020). Para la fibra del fruto, los valores coinciden con varios autores Galiwango et al. (2019) y Talero et al. (2019). Se reconoce que el contenido de celulosa puede variar según la especie vegetal, los factores de crecimiento y la metodología de extracción (Ng et al., 2020).

El contenido de hemicelulosa fue inferior al 20 % en el escobajo ($16,55 \pm 0,10$ %). Estos resultados coinciden con lo encontrado en la literatura por Talero et al. (2019), pero difiere en la fibra del fruto ($19,38 \pm 0,04$ %) con valores superiores descritos en la literatura (Lee et al., 2020; Saadiah Hafid et al., 2021). Al ser un residuo no celulósico, debe aplicarse tratamientos como el peróxido alcalino para la separación de la celulosa antes de ser

utilizados. Su presencia funciona como un pegamento que mantiene unidos los componentes lignocelulósicos de las fibras (Ratham et al., 2021).

Se presentaron valores de lignina superiores al 20 % ($22,43 \pm 0,15$ % de escobajo y $24,92 \pm 0,05$ % de fibra de la fruta), y fue significativamente mayor en la fibra de la fruta. La literatura académica registra valores variables presentes en el escobajo, como el 17,88 % importado por Onuorah et al. (2015) y el 15,1 % encontrado por Tye et al. (2017). La fibra del fruto presentó un valor de 24,8 % en el trabajo realizado por Talero et al. (2019). La lignina proporciona rigidez, la cual adecúa una capa capaz de resistir al agua y la descomposición. Esto impide la conversión de la biomasa en pulpa útil. Es necesaria la deslignificación para el uso eficiente de las fibras (Qin et al., 2021; Wightman et al., 2019).

Conclusiones

Las propiedades físicas de humedad (%) y solubilidad en soda (%) no presentaron diferencias entre el escobajo y la fibra de los residuos de la palma aceitera. El escobajo y la fibra del fruto de palma aceitera presentaron solubilidad en agua caliente (97-100 °C) con valores inferiores al 17 %.

Las propiedades químicas de la fibra fueron mayores que el escobajo con base en el porcentaje de celulosa, hemicelulosa y lignina. Los valores de celulosa presentes en el escobajo y en la fibra del fruto de palma aceitera, fueron comparables con la celulosa proveniente de fuentes maderables.

Estos resultados físicos y químicos del escobajo y la fibra del fruto de palma aceitera permitirían el desarrollo de procesos tecnológicos adecuados para su conversión en residuos en productos biológicos.

Agradecimiento

Se agradece al CONCYTEC-FONDECYT, Lima, Perú, mediante el programa Mejoramiento y Ampliación de los Servicios del Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e innovación Tecnológica (SINACYT), bajo el Contrato N° 99-2018- FONDECYT-BM-IADT-MU, de adjudicación de fondos de subproyectos de investigación aplicada y desarrollo tecnológico, proyecto de investigación multidisciplinario; que ha financiado el proyecto “Aprovechamiento de los residuos sólidos de la industria de aceite de palma para fabricación de envases biodegradables para uso ornamental y agroforestal”, ejecutado por la Universidad Nacional de Ucayali (UNU). Igualmente, se agradece a las empresas Industrias Oleaginosas Monte Alegre INDOLMA S.A y Negocios Amazónicos Sustentables E.I.R.L. NEGASUS, colaboradoras de la UNU.

Referencias

- Afzal, A., Khaliq, Z., Ahmad, S., Ahmad, F., Noor, A., & Bilal Qadir, M. (2021). Development and characterization of biodegradable composite film. *Environmental Technology & Innovation*, 23, Article 101664. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101664>
- Ali, M. M., Muhadi, N. A., Hashim, N., Abdullah, A. F., & Mahadi, M. R. (2020). Pulp and paper production from oil palm empty fruit bunches: A current direction in Malaysia. *Journal of Agricultural and Food Engineering*, 2, Article 0017. <http://doi.org/10.37865/jafe.2020.0017>
- American Society for Testing and Materials. (2010). *D644-99. Standard test method for moisture content of paper and paperboard by oven drying* (ASTM D644-99). ASTM International. <https://www.astm.org/d0644-99.html>

- American Society for Testing and Materials. (2021a). *D1110-21. Standard test methods for water solubility of wood* (ASTM D1110-21). ASTM International. <https://www.astm.org/d1110-21.html>
- American Society for Testing and Materials. (2021b). *D1109-21. Standard Test Method for 1% Sodium Hydroxide Solubility of Wood* (ASTM D1109-21). ASTM International. <https://www.astm.org/d1109-21.html>
- Arévalo Vergel, A. C., Villamizar Fuentes, D. S., & Ramón Valencia, B. (2019). Caracterización química de la biomasa residual obtenida a partir de la palma de aceite (*Elaeis guineensis*) para posibles usos en la elaboración de tableros de partículas. *Bistua: Revista de la Facultad de Ciencias Básicas*, 17(1), 59–64.
- Awalludin, M. F., Sulaiman, O., Hashim, R., & Wan Nadhari, W. V. A. (2015). An overview of the oil palm industry in Malaysia and its waste utilization through thermochemical conversion, specifically via liquefaction. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 50, 1469–1484. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.05.085>
- Bozzelli, J. (2017, mayo 1). *Analizar la humedad del material antes de iniciar el proceso de inyección*. *Plastics Technology México*. <https://bit.ly/3NUddGQ>
- Dharmaraja, J., Shobana, S., Arvindnarayan, S., Vadivel, M., Aatabani, A. E., Pugazhendhi, A., & Kumar, G. (2020). Biobutanol from lignocellulosic biomass: bioprocess strategies. Lignocellulosic biomass to liquid biofuels. In A. Yousuf, D. Pirozzi, & F. Sannino (Eds.), *Lignocellulosic Biomass to Liquid Biofuels* (Chapter 5; pp. 169–193). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815936-1.00005-8>
- Fortunati, E., & Balesta, G. M. (2019). Lignocellulosic materials as novel carriers, also at nanoscale, of organic active principles for agri-food applications. *Biomass, Biopolymer-Based Materials, and Bioenergy*, 2019, 161–178. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102426-3.00009-6>
- Galiwango, E., Abdel Rahman, N. S., Al-Marzouqi, A. H., Abu-Omar, M. M., & Khaleel, A. A. (2019). Isolation and characterization of cellulose and α -cellulose from date palm biomass waste. *Heliyon*, 5(12), Article e02937. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02937>
- González Velandia, K. D., Daza Rey, D., Caballero Amado, P. A., & Martínez González, C. (2016). Evaluacion de las propiedades físicas y químicas de residuos sólidos orgánicos a emplearse en la elaboracion de papel. *Luna azul*, 43, 499–517. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=321745921021>
- Hashim, S. N. A. S., Norizan, B. A., Barahin, K. W., Zakaria, S., Chia, C. H., Potthast, A., Schiehsler, S., Bacher, M., Rosenau, T., & Jaafar, S. N. S. (2020). In-depth characterization of cellulosic pulps from oil palm empty fruit bunches and kenaf core, dissolution and preparation of cellulose membranes. *Cellulose Chemistry and Technology*, 54(7–8), 643–652.
- Hernández-Cázares, A. S., Real-Luna, N., Delgado-Blancas, M. I., Bautista-Hernández, L., & Velasco-Velasco, J. (2016). Residuos agroindustriales con potencial de compostaje. *AgroProductividad*, 9(8), 10–17.
- IndexMundi. (2021). *Palm oil area harvested annual growth rate by country*. <https://bit.ly/3O39XcC>
- Lee, J. T. E., Usman Khan, M., Tian, H., Ee, A. W. L., Yang Lim, E., Dai, Y., Wah Tong, Y., & Ahring, B. K. (2020). Improving methane yield of oil palm empty fruit bunches by wet oxidation pretreatment: Mesophilic and thermophilic anaerobic digestion conditions and the associated global warming potential effects. *Energy Conversion and Management*, 225, Article 113438. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.113438>
- Loong Yiin, C., Ho, S., Yusup, S., Quitain, A. T., Heng Chang, Y., Chun Minh Loy, A., & Ling Gwee, Y. (2019). Recovery of cellulose fibers from oil palm empty fruit bunch for pulp and paper using green delignification approach. *Bioresource Technology*, 290, Article 121797. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.121797>

- Ministerio de Agricultura y Riego. (2019). *Anuario estadístico de producción agrícola*. Ministerio de Agricultura y Riego.
- Miranda Ruiz, E. (2012). *Aprovechamiento y efecto del escobajo de palma aceitera (Elaeis guineensis, Jacq), como fuente orgánica en plantaciones de 7 años, en la producción de racimo fresco en el distrito de Campo Verde - Región Ucayali*. El Cid Editor.
- Mohamad Ibrahim, M. N., Chuah, S. B., & Wan Rosli, W. D. (2004). Characterization of lignin precipitated from the soda black liquor of oil palm empty fruit bunch fibers by various mineral acids. *ASEAN Journal on Science & Technology for Development*, 21(1), 57–67. <https://doi.org/10.29037/ajstd.92>
- Ng, C. Y., Khoo, L. H., Ng, L. Y., Ong, C. B., Mahmoudi, E., Rohani, R., & Mohammad, A. W. (2020). Novel polyethersulfone-cellulose composite thin film using sustainable empty fruit bunches from *Elaeis guineensis* for methylene blue removal. *Polymer Testing*, 86, Article 106494. <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2020.106494>
- Onuorah, E. O., Nwabanne, J. T., & Nnabuife, E. L. C. (2015). Pulp and paper making potentials of *Elaeis guineensis* (oil palm) grown in south east, Nigeria. *World Journal of Engineering*, 12(1), 1–12. <https://doi.org/10.1260/1708-5284.12.1.1>
- Organización de Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2019). *Cultivos y productos de ganadería*. <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC>
- Ortiz-Serna, P., Carsí, M., Culebras, M., Collins, M. N., & Sanchis, M. J. (2020). Exploring the role of lignin structure in molecular dynamics of lignin/biopolymer derived thermoplastic elastomer polyurethane blends. *International Journal of Biological Macromolecules*, 158, 1369–1379. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.04.261>
- Pereira, P. H. F., Souza, N. F., Ornaghi Jr., H. L., & Rosas de Freitas, M. (2020). Comparative analysis of different chlorine-free extraction on oil palm mesocarp fiber. *Industrial Crops and Products*, 150, Article 112305. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112305>
- Pretell, V., & Erazo, R. (2019, July 24–26). *Evaluation of the physicochemical and thermogravimetric properties of three Peruvian biomasses for their energetic use* [Conference presentation]. 17th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: “Industry, Innovation, And Infrastructure for Sustainable Cities and Communities”. Montego Bay, Jamaica. <http://doi.org/10.18687/LACCEI2019.1.1.282>
- Puello, B., & Zabaleta, L. (2014). *Obtención de una película biodegradable a partir del olote de maíz para ser utilizado como empaque de alimentos a escala laboratorio en la Universidad de San Buenaventura Cartagena* [Trabajo de Grado, no publicado]. Universidad de San Buenaventura Seccional Cartagena.
- Qin, Z., Yang, Q., Cheng, X., Liu, H., & Wang, X. (2021). Structural features, chemical composition, antioxidant activities of organosolv lignins extracted from black and white sesame capsules and stalks. *Industrial Crops and Products*, 169, Article 113677. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113677>
- Ramírez, N. E., Arévalo, A., & García-Núñez, J. A. (2015). Inventario de la biomasa disponible en plantas de beneficio para su aprovechamiento y caracterización fisicoquímica de la tusa en Colombia. *Revista Palmas*, 36(4), 41–54.
- Ramos Sevilla, I. (2017). Caracterización química de tres residuos lignocelulósicos generados en la región del Cantón Alausí. *Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica*, 20(40), 80–85.
- Rana, V., Malik, S., Joshi, G., Kumar Raiput, N., & Gupta, P. K. (2021). Preparation of alpha cellulose from sugarcane bagasse and its cationization: Synthesis, characterization, validation and application as wet-end additive. *International Journal of Biological Macromolecules*, 170, 793–809. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.12.165>

- Rathamat, Z., Choorit, W., Chisti, Y., & Prasertsan, P. (2021). Two-step isolation of hemicellulose from oil palm empty fruit bunch fibers and its use in production of xylooligosaccharide prebiotic. *Industrial Crops and Products*, *160*, Article 113124. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.113124>
- Saadiah Hafid, H., Samsu Baharuddin, A., Noriznan Mokhtar, M., Nadia Omar, F., Afandi P Mohammed, M., & Wakisaka, M. (2021). Enhanced laccase production for oil palm biomass delignification using biological pretreatment and its estimation at biorefinary scale. *Biomass and Bioenergy*, *144*, Article 105904. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2020.105904>
- Sakeri, S. H., Mohamad Ibrahim, M. N., Umar, K., Yaqoob, A. A., Azmi, M., Hussin, M. H., Othman, M. B. H., & Abdul Malik, M. F. (2020). Preparation and characterization of nanosized lignin from oil palm (*Elaeis guineensis*) biomass as a novel emulsifying agent. *International Journal of Biological Macromolecules*, *164*, 3114–3124. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.08.181>
- Sánchez Riaño, A. M., Gutiérrez Morales, A. I., Muñoz Hernández, J. A., & Rivera Barrero., C. A. (2010). Producción de bioetanol a partir de subproductos agroindustriales lignocelulosicos. *Revista Tungaba*, *1*(5), 61–91.
- Serrano-Ruiz, H., Martin-Closas, L., & Pelacho, A. M. (2021). Biodegradable plastic mulches: Impact on the agricultural biotic environment. *Science of The Total Environment*, *750*, Article 141228. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141228>
- Sociedad Peruana de Ecodesarrollo. (2018). *Análisis Situacional de los principales commodities peruanos con riesgo a la deforestación*. Sociedad Peruana de Ecodesarrollo.
- Talero, G., Rincón, S., & Gómez, A. (2019). Torrefaction of oil palm residual biomass: Thermogravimetric characterization. *Fuel*, *242*, 496–506. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.01.057>
- Technical Association of the Pulp and Paper Industry. (2002). *Reducing a gross sample of granular or aggregate material to testing size, test method T 605 w-00*. Technical Association of the Pulp and Paper Industry.
- Trogen, M., Le, N., Sawada, D., Guizani, C., Vergara Lourençon, T., Pitkänen, L., Sixta, H., Shah, R., O'Neill, H., Balakshin, M., Byrne, N., & Hummel, M. (2021). Cellulose-lignin composite fibres as precursors for carbon fibres. Part 1 - Manufacturing and properties of precursor fibres. *Carbohydrate Polymers*, *252*, Article 117133. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.117133>
- Tye, Y. Y., Leh, C. P., & Abdullah, W. N. W. (2017). Total glucose yield as the single response in optimizing pretreatments for *Elaeis guineensis* fibre enzymatic hydrolysis and its relationship with chemical composition of fibre. *Renewable Energy*, *114*, 383–393. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.07.040>
- Vibe Scheller, H., & Ulvskov, P. (2010). Hemicelluloses. *Annual Review of Plant Biology*, *61*, 263–289. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-042809-112315>
- Wightman, R., Busse-Wicher, M., & Dupree, P. (2019). Correlative FLIM-confocal-Raman mapping applied to plant lignin composition and autofluorescence. *Micron*, *126*, Article 102733. <https://doi.org/10.1016/j.micron.2019.102733>
- Woittiez, L. S., van Mijk, M., Slingerland, M., van Noordwijk, M., & Giller, K. E. (2017). Yield gaps in oil palm: A quantitative review of contributing factors. *European Journal of Agronomy*, *83*, 57–77. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2016.11.002>
- Yahayu, M., Abas, F. Z., Zulkifli, S. E., & Ani, F. N. 2018. Utilization of oil palm fiber and palm kernel shell in various applications. In Z. A. Zakaria (Ed.), *Sustainable technologies for the management of agricultural wastes, applied environmental science and engineering for a sustainable future* (pp. 45–64). Springer Nature. https://doi.org/10.1007/978-981-10-5062-6_4

Zar, J. H. (2019). *Biostatistical analysis* (6th ed.). Pearson.

Zhang, C., Mo, J., Fu, Q., Liu, Y., Wang, S., & Nie, S. (2021). Wood-cellulose-fiber-based functional materials for triboelectric nanogenerators. *Nano Energy*, 81, Article 105637. <https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2020.105637>