

DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE HUMEDAD, SOLUBLES E INSOLUBLES EN AGUA DE LA FIBRA DE *Carludovica Palmata* (PAJA TOQUILLA)

Luis M. López^{1,*}, Andrés P. Sarmiento², Jorge I. Fajardo³, Luis E. Valarezo⁴ y Robin Zuluaga Gallego⁵

Resumen

En este artículo se presenta la determinación de humedad, elementos solubles e insolubles en agua de la fibra de *Carludovica palmata* (paja toquilla). Para realizar estos ensayos se utilizan las normas ASTM E871-82, ASTM D1110-84 y ASTM D1107-96. Con la finalidad de determinar su uso potencial como refuerzo en materiales compuestos y la influencia en la resistencia mecánica. El porcentaje de humedad de la fibra analizada corresponde al 5,33 % de su peso. El porcentaje de elementos solubles e insolubles en agua es 4,6 % y 21,87 % respectivamente.

Palabras clave: Fibra natural, fibras celulósicas, carludovica palmata, contenido de humedad, solubilidad, insolubilidad.

Abstract

This paper presents the determination of moisture and water solubles and insolubles of *Carludovica Palmata* (paja toquilla) fiber. To perform these tests using ASTM E871-82, ASTM D1110-84 and ASTM D1107-96 standards. In order to determine its use potential as reinforcement in composite materials and the influence on the mechanical strength. The moisture content of analyzed fiber corresponds to 5,33 % by weight. The percentage of soluble and insoluble components in water is 4,6 % and 21,874 %, respectively.

Keywords: Natural fiber, cellulose fibres, carludovica palmata, moisture content, solubility, insolubility.

^{1,*}Ingeniero mecánico, egresado de la Maestría en Sistemas Integrados en Seguridad, Calidad y Medio Ambiente, Universidad Politécnica Salesiana. Docente de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Politécnica Salesiana, Investigador del Grupo de Materiales (GIMA – CIDII). Autor para correspondencia ✉: llopez@ups.edu.ec

²Colaborador del Grupo de Investigación en Materiales (GIMA – CIDII), estudiante de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Politécnica Salesiana.

³Ingeniero mecánico, estudiante de Doctorado en Ingenierías – Materiales, Universidad Pontificia Bolivariana sede Medellín, Colombia. Docente de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Politécnica Salesiana, Investigador del Grupo de Materiales (GIMA – CIDII).

⁴Colaborador del Grupo de Investigación en Materiales (GIMA – CIDII), estudiante de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Politécnica Salesiana.

⁵Ph.D en Ingeniería, Ingeniero agroindustrial, Docente-Investigador Asociado, Universidad Pontificia Bolivariana sede Medellín, Colombia, Facultad de Ingeniería Agroindustrial.

Recibido: 27-05-2013, Aprobado tras revisión: 04-06-2013.

Forma sugerida de citación: López L.; Sarmiento, A.; Fajardo, J.; Valarezo, L. y Zuluaga, R. (2013). “Determinación del porcentaje de humedad, solubles e insolubles en agua de la fibra de *Carludovica Palmata* (paja toquilla)”. INGENIUS. N.º9, (Enero-Junio). pp. 23-27. ISSN: 1390-650X.

1. Introducción

Las fibras naturales son estructuras de origen vegetal, mineral o animal [1], usadas desde aproximadamente 7000 años [2], su uso puede remontarse a 10 000 a. C. en China [3]. La pared celular de las fibras naturales está compuesta por celulosa, hemicelulosa, lignina, pectina y otros componentes de bajo peso molecular [4] [5], que también se encuentran en otras estructuras de las plantas como hojas, tallos, frutos y semillas [2].

Actualmente, tendencias mundiales en busca de lograr un desarrollo sustentable han conducido a la necesidad de contar con materias primas naturales, renovables y biodegradables, que puedan ser usadas industrialmente. Por ejemplo solo en 1960 la cantidad de producción de fibras fue de $1,5 \times 10^7$ Mt y en 2002 fue de $2,5 \times 10^7$ Mt; este incremento es debido a las notables ventajas que presentan: biodegradabilidad después de cumplir su ciclo de vida, recuperación de energía procedente de su incineración, bajo peso específico, recurso renovable, baja inversión en la producción, buen aislante térmico y acústico [4].

Por el contrario presenta también algunas desventajas, que pueden limitar su aplicación en ambientes industriales: calidad variable, temperatura de procesamiento limitada, baja resistencia al fuego, precios fluctuantes dependientes de políticas agrícolas, entre otras.

El uso de fibras naturales se ha extendido fundamentalmente como refuerzo en materiales compuestos [6] [7], en la industria automotriz [8] [9], nanocompuestos celulósicos [10] entre otros.

Ecuador posee aproximadamente cerca de 25 000 especies [5], convirtiéndose en el país con mayor diversidad vegetal por unidad de área en América Latina. Como es conocido, el desarrollo tecnológico en el Ecuador se encuentra aún en fase de crecimiento, en consecuencia el uso de materiales compuestos y más aún el uso de fibras naturales es todavía limitado; no obstante, el potencial que se tiene es grande [11], por ejemplo: en 2010, Ecuador produjo 10 000 toneladas de fibra de abacá [12], colocándolo como el segundo productor mundial de esta fibra después de Filipinas.

Al no contar con estudios profundos [2] sobre las características físicas, químicas y mecánicas de la *Cardulovica palmata* (paja toquilla) especie vegetal natural del Ecuador, las posibles aplicaciones se ven limitadas, incluso en las aplicaciones típicas como elaboración de sombreros. Por ende no es posible obtener productos con mayor valor agregado, afectando negativamente la balanza comercial de Ecuador [13].

El análisis que se presenta a continuación está organizado de la siguiente manera. En la sección 2 se presenta una revisión de la caracterización de fibras

naturales. En la sección 3 se determina los porcentajes de humedad, orgánicos e inorgánicos de las muestras obtenidas. La sección 4 describe los resultados y discusión.

2. Caracterización de fibras naturales

En términos de utilización de fibras naturales a nivel mundial existe dos clasificaciones generales de plantas productoras, primarias como la paja toquilla (*Cardulovica palmata*), cultivada exclusivamente por el uso de su fibra [14], secundarias si se deriva como un subproducto de un proceso.

Debido a las crecientes necesidades en el uso de fibras, se puede clasificar de acuerdo a la región geográfica donde se cultivan [15], siendo las plantaciones más importantes de *Cardulovica palmata* las que se encuentran en Manabí, Guayas y en zonas de la Región Amazónica [16]. Hay diversas formas de clasificar las fibras naturales, algunos autores consideran las fibras en cuanto a la fabricación de papel industrial, en su forma de uso tanto en textiles y materiales compuestos [17], otros utilizan sistemas tales como fibra dura y blanda, fibras largas y cortas, contenido de humedad, celulosa, lignina, hemicelulosa [18], resistencia mecánica, contenido de materiales orgánicos e inorgánicos, color, forma y tamaño de la sección de la fibra entre otros [15].

La mayoría de las fibras en el país no están caracterizadas o se lo ha efectuado parcialmente de acuerdo a la necesidad de un determinado sector industrial, por tal motivo en una primera etapa se pretende determinar el contenido de humedad, el porcentaje de materiales orgánicos e inorgánicos de la fibra seca antes del proceso de blanqueado con azufre. En una segunda etapa se pretende determinar el porcentaje de lignina, celulosa y resistencia mecánica de la fibra natural, antes y después de ser tratada.

3. Materiales y métodos

Se utilizó fibra de *Cardulovica palmata* (paja toquilla) proveniente de Manabí con un largo aproximado de 1,20 m con secciones variadas y un color amarillo claro; el tiempo de secado corresponde a 168 horas (7 días), a temperatura ambiente de 25 °C.

3.1. Ensayo de humedad

Las cápsulas petri previamente limpiadas, libres de materiales extraños o restos de humedad, fueron colocadas en un horno marca Binder de procedencia americana previamente calibrado a 105 °C durante una hora para eliminar restos de humedad. Posteriormente se colocaron en un recipiente cerrado con sílica gel (desecador) durante una hora para estabilizar a

temperatura ambiente y determinar su peso seco en una balanza de precisión como se indica en la Tabla 1.

Tabla 1. Pesos de las cápsulas.

Cápsula	Peso en gramos
1	46,0667
2	46,0605
3	45,5799
4	46,0550

Las cápsulas se ubicaron sobre la balanza de precisión para ser ajustadas y se colocó la fibra que previamente fue molida y clasificada en un tamiz número 50. La Tabla 2 indica los pesos obtenidos.

Tabla 2. Pesos de las fibras

Muestra	Peso en gramos
1	1,9907
2	1,9960
3	1,9900
4	2,0005

El proceso de secado de la fibra se realizó a 105 °C durante una hora, luego se estabilizó la temperatura y se determinó su peso seco. El procedimiento se repitió hasta que exista una diferencia menor a 0,002 g entre la última medición y la anterior. La Tabla 3 presenta los pesos obtenidos del ensayo con un error menor al exigido por la norma ASTM E871-82 [19].

Tabla 3. Peso inicial y final de la muestra

Muestra	Peso en gramos	
	Inicial Cápsula + Fibra	Final Cápsula + Fibra
1	48,0574	47,9489
2	48,0565	47,9541
3	47,5699	47,4623
4	48,0555	47,9488

Determinado los pesos finales se calcula el porcentaje de humedad que contiene la fibra mediante la fórmula 1.

$$\% \text{ humedad} = \frac{P_i - P_f}{P} \times 100 \quad (1)$$

dónde:

- P_i = Peso inicial de la fibra con la cápsula
- P_f = Peso final de la fibra con la cápsula
- P = Peso de la fibra

La Tabla 4 indica el porcentaje de humedad en las muestras analizadas de la fibra.

Tabla 4. Porcentaje de humedad de las muestras

Muestra	Porcentaje de humedad
1	5,45 %
2	5,14 %
3	5,40 %
4	5,33 %

El promedio de humedad de las muestras corresponden al 5,33 % del peso de la fibra. Los resultados presentados corresponden a una determinada fibra natural que cumple las condiciones iniciales antes presentadas.

3.2. Ensayo para determinar el porcentaje de elementos solubles en agua

Se preparó un balón con capacidad de 350 ml, se colocó en el horno a una temperatura de 105 °C durante 1 hora para eliminar humedad y posibles residuos de otra sustancia. La fibra previamente molida, tamizada y pesada fue colocada en un cambral (bolsa), presentando su peso seco en la Tabla 5.

Tabla 5. Pesos de la muestra y cambral

Peso [Fibra]	Peso [Fibra + cambral]
4,5690 g	10,3146 g

La cantidad de agua destilada colocada en el balón previamente secado es de 350 ml considerando evaporación, según la norma ASTM D1110-84 [20]. Se introdujo en el balón trozos de cerámica (perlas de ebullición) [21], para producir nucleación y evitar burbujas grandes en la ebullición que pueda presentar problemas en el procedimiento. El cambral con la fibra fue colocado en el condensador y presionado con esferas de cristal antes de ser armado junto al balón y soxhlet en la manta de calentamiento. El proceso se realizó por un tiempo de 13 horas hasta observar la cristalinidad del agua en el condensador que contiene la fibra.

El cambral fue colocado en el horno a 50 °C durante 12 horas y a 105 °C por 1 hora, una vez estabilizada la temperatura en el desecador se procedió a pesar, obteniendo el resultado de la Tabla 6.

Tabla 6. Peso de la muestra y cambral

Pesos	
Inicial [Fibra + Cambral]	Final [Fibra + Cambral]
10,3146 g	9,8384 g

Determinado el peso final de la fibra junto al cambral se calculó el porcentaje de elementos solubles en agua (acuosos), utilizando la fórmula 2.

$$\% \text{ acuosos} = \frac{P_i - P_f}{P_i} \times 100 \quad (2)$$

dónde:

- P_i = Peso inicial de la fibra con el cambral
- P_f = Peso final de la fibra con el cambral

El porcentaje de elementos solubles en la muestra analizada corresponde al 4,6 % de su peso.

3.3. Ensayo para determinar el porcentaje de elementos insolubles en agua

Determinado el porcentaje de elementos solubles se repite el procedimiento utilizando 220 ml de etanol y 110 ml de tolueno mezclados en el balón de acuerdo a la norma ASTM D1107 - 96 [22]. La Tabla 7 muestra el peso seco inicial y final de la muestra con el cambral después de 12 horas en la manta de calentamiento, 1 hora en el horno a 105 °C y estabilizada su temperatura.

Tabla 7. Peso de la muestra y cambral

Pesos	
Inicial	Final
[Fibra + Cambral]	[Fibra + Cambral]
9,8384 g	9,8220 g

Aplicando la fórmula 3:

$$\% \text{ orgánicos} = \frac{P_f}{P_i - P} \times 100 \quad (3)$$

dónde:

- P_i = Peso inicial de la fibra con el cambral
- P_f = Peso final de la fibra con el cambral
- P = Peso de la fibra

Se determina que el 21,87 % del peso de la fibra corresponde a materiales orgánicos.

4. Resultados y discusión

El porcentaje de humedad en fibras naturales es fundamental para tratamientos posteriores que ayudan al desarrollo de varios sectores industriales donde su regulación mejora la adherencia y procesamiento debido a la influencia en la elasticidad, flexibilidad y resistencia mecánica. La Tabla 8 presenta el porcentaje de humedad de la fibra, elementos insolubles y solubles en agua, como almidones, azúcares, sales, gomas y materiales colorantes que afectan directamente la propiedad de la fibra.

Tabla 8. Características de la muestra de *Cardulovica palmata*

Humedad	5,33 %
Solubles en H ₂ O	4,6 %
Insolubles en H ₂ O	21,87 %

En estudios previos se ha determinado que el uso de fibras naturales como refuerzos de compuestos con matrices poliméricas se ha incrementado considerablemente [23], sin embargo, su naturaleza hidrofílica genera problemas de compatibilidad con las matrices afectando la calidad interfacial y alterando las propiedades de la región que son consecuencia de las interacciones fisicoquímicas de las sustancias que componen la fibra y la matriz, lo cual juega un papel importante en las propiedades mecánicas del compuesto.

El porcentaje de humedad en fibras naturales es del 5 al 10 % [24]. Para materiales compuestos la humedad varía en función de la matriz [25], en aplicaciones industriales debe ser menor al 1 % [26]. La fibra estudiada presenta un porcentaje de humedad alto lo cual ocasionaría problemas en la adherencia fibra-matriz, aunque los componentes solubles e insolubles en agua presentan porcentajes considerables que puedan alterar la región superficial.

En trabajos futuros se iniciará con el análisis químico enfocándose en la determinación del porcentaje de lignina en la fibra, así como el análisis de propiedades mecánicas y térmicas mediante Termogravimetría (TGA) y Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC). Posteriormente se pretende establecer mejoras en el proceso de obtención de la fibra y en las propiedades interfaciales.

Referencias

- [1] J. Müssig and T. Sloomaker, "Types of fibre," in *Industrial Applications of Natural Fibers*, J. Müssig, Ed. Wiley, 2010, pp. 41–48.
- [2] M. Kozłowski, M. Mackiewicz-Talarczyk, M. Muzyczek, and J. Barriga, "Future of natural fibers, their coexistence and competition with man-made fibers in 21st century," *Molecular Crystals and Liquid Crystals*, vol. 556, no. 1, 2012.
- [3] T. Hanninen and M. Hughes, "Historical, contemporary and future applications," in *Industrial Applications of Natural Fibers*, J. Müssig, Ed. Wiley, 2010, pp. 385–395.
- [4] J. Biagiotti, D. Puglia, and J. M. Kenny, "A review on natural fibre-based composites-part I: structure, processing and properties of vegetable fibres," *Journal of Natural Fibers*, vol. 1, no. 2, pp. 37–68, 2004.

- [5] A. Simbaña and G. Pabón, *Fibras naturales de la provincia de Imbabura*, 2006.
- [6] T. Huber, N. Graupner, and J. Müssig, “Natural fibre composite processing: A technical overview,” in *Industrial Applications of Natural Fibers*, J. Müssig, Ed. Wiley, 2010, pp. 407–421.
- [7] O. Faruk, A. Bledzki, H.-P. Fink, and M. Sain, “Biocomposites reinforced with natural fibers: 2000-2010,” *Progress in Polymer Science*, vol. 37, pp. 1552–1596, 2012.
- [8] J. Biagiotti, D. Puglia, and J. M. Kenny, “A review on natural fibre-based composites-part II: application of natural reinforcements in composite materials for automotive industry,” *Journal of Natural Fibers*, vol. 1, no. 3, pp. 23–65, 2005.
- [9] E. Prömper, “Natural fibre-reinforced polymers in automotive interior applications,” in *Industrial Applications of Natural Fibers*, J. Müssig, Ed. Wiley, 2010, pp. 423–436.
- [10] S. Bandyopadhyay-Ghosh, S. Bandhu Ghosh, and M. Sain, “Cellulose nanocomposites,” in *Industrial Applications of Natural Fibers*, J. Müssig, Ed. Wiley, 2010, pp. 459–480.
- [11] FAO, “Perfiles de países productores,” Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Tech. Rep., 2012. [Online]. Available: <http://www.fao.org/economic/futurefibres/profiles/ecu/es/>
- [12] —, “Fibras del futuro,” Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Tech. Rep., 2012. [Online]. Available: <http://www.fao.org/economic/futurefibres/fibres/abaca0/es/>
- [13] J. Fajardo, M. Amaya, F. Novillo, and G. Romero, “Diagnóstico del desarrollo tecnológico de la ciencia de materiales en las PYMES de la ciudad de Cuenca,” *Ingenius: Revista de Ciencia y Tecnología*, vol. 2, no. 6, pp. 37–50, 2011.
- [14] R. Rowell, J. Han, and J. Rowell, “Characterization and factors affecting fiber properties,” *Natural Polymers and Agrofibers Based Composites*, 2000.
- [15] R. M. Rowell, “Natural fibres: types and properties,” in *Properties and performance of natural-fibre composites*, 1st ed., K. Pickering, Ed. Woodhead Publishing Limited, 2008, ch. 1, pp. 1–66.
- [16] G. Carpio. Homero Ortega - Genuine Panama Hat - Cuenca, Ecuador. [Online]. Available: http://www.homeroortega.com/pe_materia.php
- [17] M. Huda, L. Drzal, D. Ray, K. Mohanty, and M. M., “Natural fiber composites in the automotive sector,” K. Pickering, Ed. Woodhead Publishing Limited, 2008, ch. 7, pp. 221 – 268.
- [18] J. Morán, “Extracción de celulosa y obtención de nanocelulosa a partir de fibra de sisal - caracterización,” *Asociación Argentina de Materiales*, Octubre 2008.
- [19] American Society of Testing Materials, *Standard Test Method for Moisture Analysis of Particulate Wood Fuel E871 - 82*, American Society of Testing Materials Std., 2013.
- [20] —, *Standard Test Method for Water Solubility of Wood D1110 - 84*, American Society of Testing Materials Std., 2013.
- [21] R. Anton, “Tensión interfacial,” in *Cuaderno Firp S203-A*. Universidad de los Andes, 2005.
- [22] American Society of Testing Materials, *Standard Test Method for Ethanol - Toluene Solubility of Wood D1107 - 96*, American Society of Testing Materials Std., 2013.
- [23] A. Bledzki, S. Reihmane, and J. Gassan, “Properties and modification methods for vegetable fibers for natural fiber composites,” *Journal of Applied Polymer Science*, vol. 59, no. 8, pp. 1329–1336, 1996.
- [24] D. N. Saheb and J. Jog, “Natural fiber polymer composites: a review,” *Advances in Polymer Technology*, vol. 18, no. 4, pp. 351–363, 1999.
- [25] H. Dhakal, Z. Zhang, and M. Richardson, “Effect of water absorption on the mechanical properties of hemp fibre reinforced unsaturated polyester composites,” *Composites Science and Technology*, vol. 67, no. 7, pp. 1674–1683, 2007.
- [26] J. Holbery and D. Houston, “Natural-fiber-reinforced polymer composites in automotive applications,” *Jom*, vol. 58, no. 11, pp. 80–86, 2006.