

Elaboración de placas de aislamiento térmico a partir de fibra de coco empleando ácido poliláctico (PLA) como aglutinante

Preparation of thermal insulation panels from coconut husk using polylactic acid (PLA) as agglutinative

José A. Espinoza Montero

Universidad de Costa Rica
Sede del Caribe, Escuela de
Ingeniería Química
Limón, Costa Rica
jose.espinozamontero@ucr.ac.cr

Genyel Amador Vargas

Universidad de Costa Rica
Sede del Caribe, Escuela de
Ingeniería Química
Limón, Costa Rica
moizo1111@gmail.com

Jordy Navarro Navarro

Universidad de Costa Rica
Sede del Caribe, Escuela de
Ingeniería Química
Limón, Costa Rica
navarrojordy03@gmail.com

Karina Rodríguez Mora

Universidad de Costa Rica
Instituto de Investigaciones en
Ingeniería
San José, Costa Rica
karina.rodriguez mora@ucr.ac.cr

RESUMEN: En la región del Caribe la cáscara del coco es un desecho abundante que presenta un manejo descoordinado por la ausencia de protocolos de tratamiento de residuos. Este trabajo busca generar una alternativa que pueda aportar en su reutilización, tomando en cuenta aspectos del ámbito social, económico y ecológico. Es por ello que se planteó elaborar placas de aislamiento térmico a partir de fibra de coco empleando ácido poliláctico (PLA) como aglutinante. Para ello se estudió el efecto que tenían dos diferentes tratamientos a la fibra de coco: acetosol y extracción con acetona, para compararlo con las fibras sin tratar. Para la realización de las láminas se empleó un prensado de las fibras a 14,7 KN y 186 °C, el cual se caracterizó mediante sus conductividades térmicas. Posteriormente se realizó un reforzamiento con PLA y se analizó la resistencia en pruebas de tracción. Los resultados obtenidos mostraron que la conductividad térmica las láminas fue de: 0,1330 W/m²°C acetosol, 0,0792 W/m²°C extracción con acetona, 0,0332 W/m²°C sin tratamiento y 0,0693 W/m²°C sin tratamiento con PLA. Mientras que al analizar la resistencia a la tracción se llegó a obtener un valor de 290,33± 48,73 N. A partir de la integración de los resultados se concluye que el método más práctico para la obtención de un aislante térmico es utilizar la fibra sin tratamiento, mientras que el PLA como aglutinante es funcional para mejorar las propiedades mecánicas.

PALABRAS CLAVE: aislante térmico; biomasa, conductividad térmica; desechos; recursos naturales

ABSTRACT: In the Caribbean region, the coconut shell is an inexhaustible waste that presents uncoordinated management due to the absence of waste treatment protocols. In such a way, this work seeks to generate an alternative that can provide its reuse, taking into account aspects of the social, economic, and ecological field. This was proposed to make thermal insulation plates from coconut fiber using polylactic acid (PLA) as a binder. For this, the result of two different treatments on the coconut fiber was enhanced: acetosolve and acetone extract, to compare it with the untreated fibers. To make the laminas, it was used the fibers compressed at 14.7 KN and 186 °C, characterized by their thermal conductivities. Afterward, a reinforcement with PLA was carried out and the resistance in tensile tests was analyzed. The results obtained showed that the thermal conductivity of the sheets was: 0.1330 W/m²°C acetosolve, 0.0792 W/m²°C acetone extraction, 0.0332 W/m²°C without treatment and 0.0693 W/m²°C without PLA treatment. While analyzing the tensile strength, a value of 290.33 ± 48.73 N was obtained. From the integration of the results, it's concluded that the most practical method for obtaining a thermal insulator is to use the fiber without treatment, as well as PLA as a binder is functional to improve the mechanical properties.

KEYWORDS: biomass, natural resources, thermal conductivity, thermal insulator and wastes

Recibido: 25-01-22 | Aceptado: 18-03-22

CÓMO CITAR (APA): Espinoza Montero, J. A. et al. (2022). Elaboración de placas de aislamiento térmico a partir de fibra de coco empleando ácido poliláctico (PLA) como aglutinante. *InterSedes*, 23(48), 290-307. DOI 10.15517/isucr.v23i48.49852

Introducción

Actualmente, los altos niveles de contaminación del planeta han provocado la necesidad de crear tratamientos amigables de desechos, buscando alternativas de re aprovechamiento de estos para la obtención de materias primas de bajo impacto ambiental. Como resultado de esta búsqueda, destacan los productos provenientes de fuentes biomásicas, los cuales son un objeto importante de estudio en la ciencia e innovación tecnológica, debido a sus diferentes propiedades, pues se pueden emplear como fuente energía renovable por medio de procesos como la pirolisis o gasificación (Thinkohkaew et al., 2020), otro tipo de propiedades presentes en fuentes biomásicas consisten en la capacidad de actuar como aislantes térmicos o aislantes sónicos (Muthuraj et al., 2019). La fibra de coco es un ejemplo de estos, al ser un material renovable y abundante, el cual está compuesto en su mayoría por lignina y celulosa (Rincón *et al.*, 2016).

En Costa Rica se pueden encontrar palmeras de coco alrededor de todas las zonas costeras del país, esta es una fruta utilizada como alimento y de manera medicinal, haciendo que la industria cocotera sea importante en del desarrollo de la economía local (Farley, 2019). La recolección de la fruta se realiza diariamente a lo largo de toda la zona costera del país, y es transportada hasta depósitos donde se extraen sus productos. No obstante, la cáscara sobrante es depositada en un vertedero o basurero no autorizado, y este tipo de residuos al no recibir un tratamiento adecuado termina provocando exceso de contaminación (Alvarado-Chacón *et al.*, 2018).

El cultivo de la planta ha aumentado a nivel mundial, principalmente en los países asiáticos (Alvarado-Chacón *et al.*, 2018). La popularidad de este producto se ha basado en versatilidad para la confección de productos cosméticos, artesanales, así como combustible alternativo por su alta capacidad calorífica; de igual forma, se utiliza como carbón activado para la absorción en el tratamiento de agua (Anuar *et al.*, 2018). En el mundo se da una producción aproximada de 50 mil millones de cocos cultivados, del cual el 85% en la actualidad contribuyen a un aumento en la contaminación (Cimons, 2014). Resulta evidente la falta de centros de tratamiento de este tipo desechos a nivel mundial, y Costa Rica no es la excepción.

Según una investigación del Ministerio de Salud de Costa Rica (2008), el país reporta dentro de la evaluación de los impactos ambientales generados por sitios de disposición final de residuos sólidos, únicamente el Vertedero de Cartagena, en la zona del Caribe costarricense, como centro de recolección de cultivos de pipa, coco y otros desechos orgánicos; sin embargo, se ha dado inicio a la implementación de políticas públicas sostenibles para la planificación y manejo de recursos para la recolección, disposición y tratamiento de los residuos sólidos (Campos-Rodríguez y Soto-Córdoba, 2014).

Por otro lado, se han realizado investigaciones para la utilización de la fibra de coco como aislante térmico en diferentes áreas. Por ejemplo, se han obtenido placas de fibras de coco y bagazo como recubrimiento de techos en Tailandia (Panyakaew y Fotios, 2011). De igual forma, Ellison (2013) ha profundizado el estudio de las biomimesis, donde se da un análisis de la importancia de los materiales fibrosos en el desarrollo tecnológico e ingenieril. Navacerrada *et al.* (2016) efectuaron una caracterización acústica y térmica de no tejidos basados en fibras de coco y fique, donde por medio de un ligante (látex) formaron placas no tejidas. A las cuales les determinaron la conductividad térmica con un medidor de flujo de calor.

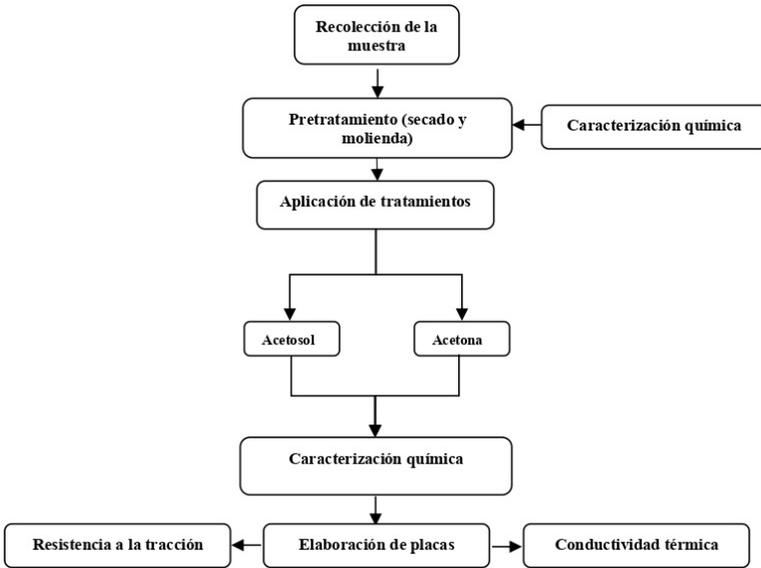
Es por ello que esta investigación se plantea determinar la capacidad de aislamiento térmico de las fibras de coco y su resistencia a la tracción mediante la adición de ácido poliláctico como aglutinante, aprovechando la abundancia de esta materia prima en la Zona Caribe costarricense.

Metodología

En la figura 1 se muestra un diagrama resumen de la metodología empleada para la elaboración de placas de aislamiento térmico a partir de fibra de coco empleando ácido poliláctico (PLA) como aglutinante.

FIGURA 1

DIAGRAMA DE RESUMEN DE LA METODOLOGÍA PARA LA ELABORACIÓN DE PLACAS DE AISLAMIENTO TÉRMICO A PARTIR DE FIBRA DE COCO EMPLEANDO ÁCIDO POLILÁCTICO (PLA) COMO AGLUTINANTE



Procesamiento de la muestra

Se realizó la recolección de la muestra en la zona de Batán, Limón, Costa Rica. Posteriormente se efectuó un pretratamiento, que consistió en un proceso de secado en un horno a 100°C durante 2 horas. Finalmente se sometió la cáscara de coco a una molienda empleando mallas de 1.5mm y 4mm.

Tratamientos

Se efectuaron dos tratamientos. El primero consistió en realizar un lavado con acetona en donde se utilizó una relación masa volumen de 18g de fibra de coco en 300mL del disolvente, a una temperatura de 50°C por un tiempo de 30 min.; finalizado dicho tiempo se decantó la muestra y se secó la fibra a 65°C por 1h, permitiendo remover impurezas como grasas vegetales y contami-

nantes presentes en la fibra de coco. De esta manera, se puede analizar su influencia en la conductividad térmica del material. El otro tratamiento empleado fue el acetosol, proceso que se llevó a cabo mediante la adición de ácido acético al 50 %, con adición ácido clorhídrico al 0,3 %; la mezcla se mantuvo en ebullición durante 1 hora, posteriormente se decantó y se secó en un horno a 65 °C por 24 horas (Hernández-Hernández *et al.*, 2016). De tal forma que se puede estudiar la influencia de la lignina sobre la conductividad térmica del material.

Caracterización química o composición

La determinación de la composición se efectuó con base en la norma TAPPI: T280 pm-99 (TAPPI, 1999), así como en los reportes técnicos: NREL/TP-510-42620 (Hames *et al.*, 2008), NREL/TP-510-42618 (Sluiter *et al.*, 2012).

Elaboración de placa

Para la elaboración y moldeo de las placas se utilizó una prensa hidráulica que trabajó a una temperatura de 145°C y 34,3 KPa. Se trabajó con las dimensiones las placas de 120x120mm. A las placas confeccionadas no se les adicionó ningún tipo de aglutinante.

Conductividad

Se determinó mediante el equipo de conductividad térmica PASCO TD-8561 y la caldera TD.8556, los cuales permiten determinar la conductividad térmica de un material de manera experimental por medio de la taza de fusión de un hielo cilíndrico, la disminución de diámetro y diferencia de peso.

Elaboración de placas con aglutinante

Se realizó un diseño factorial 2² en donde se evaluaron dos concentraciones diferentes de PLA (25,29 % y 30,85 %), así como dos tamaños de fibra de coco (1,5 y 4mm). El proceso de prensado se realiza en condiciones de (186-190) °C y (9,8-14,7) KPa, durante 7 minutos, empleando como variable respuesta la resistencia a la tracción. Para realizar estas pruebas se determinaron condiciones de trabajo y diseño, como: una temperatura de confección de la

placa de 185°C, pues esta temperatura no degrada la fibra y permite la fusión del PLA sin quemar el material. Además, se definió el prensado a 9,8 KN como mínimo, 14,7 KPa como máximo, debido a que, con valores menores al mínimo, no se da una correcta distribución y fusión del ácido poliláctico y a valores mayores a 14,7 KPa, no existe diferencia e implica mayor energía.

Resistencia (condiciones y diseño)

Los ensayos de tracción se realizaron bajo la norma: “ASTM D4595-17 Standard Test Method for Tensile Properties of Geotextiles by The Wide-width Strip” (ASTM International, 2017). Para la prueba se determinaron condiciones de trabajo como una velocidad de 3 mm/min y una fuerza de tracción de 178,8 (±71,2) N.

Resultados y discusión

En la primera parte de la investigación se caracterizó la fibra de coco sin ningún tratamiento, como aquellas con los dos tratamientos descritos anteriormente. Esto permitió medir la celulosa, hemicelulosa, lignina, ceniza y extractivos liposolubles. En la tabla 1 se reportan los datos promedio recopilados en la caracterización.

TABLA 1

PROMEDIO DE LOS DATOS OBTENIDOS EN LA CARACTERIZACIÓN DE LA FIBRA DE COCO CON DISTINTOS TRATAMIENTOS.

Componente (%)	Sin tratar	Acetosol	Acetona
Extractivos	1,70±0,11	1,14±0,23	1,70±0,15
Cenizas	0,50±0,09	0,57±0,04	0,72±0,13
Celulosa	27,51±0,19	37,31±0,26	25,26±0,19
Hemicelulosa	10,37±0,51	11,68±0,50	10,7±1,0
Lignina	51,8±2,9	43,64±0,91	56,8±1,4

En un estudio de Rincón *et al.* (2016) se caracterizó fisicoquímicamente y funcionalmente la fibra de coco sin tratamientos en el Estado de Nayarit, México, y se reportó que la fibra de coco se encuentra compuesta aproximadamente por 35,9 % de celulosa, 18,56 % de hemicelulosa y 19,38 % de lignina, las cuales se determinaron por el método de la Association of Official Analytical

Chemist de 1984. Por su parte, Panyakaew y Fotios (2010), caracterización la fibra de coco en Tailandia por el método de CAPPI-T222-cm-98, reportando que el mesocarpio está compuesto por un 36,73 % de lignina. Por último, Samanta *et al.* (2018) por medio de un tensioactivo no iónico (2 %) eliminaron las impurezas adheridas a la superficie y algunos materiales cerosos y por medio de una caracterización reportaron que la fibra de coco posee 38,9 % de celulosa, 32,6 % de lignina y 24,2 % de hemicelulosa.

Como se logra observar, los datos obtenidos se encuentran dentro del rango con los mostrados en las otras investigaciones previas. No obstante, el porcentaje de celulosa y lignina es alto en el mesocarpio de coco, exceptuando la investigación de Rincón *et al.* (2016). Es importante observar que la fibra caracterizada muestra un aumento aún mayor en cuanto al porcentaje de lignina y reducción de celulosa en su composición. Estos resultados se asocian directamente con las características físicas de la cáscara como la rigidez, la capacidad de retener líquido y absorber agua.

Por otro lado, Hernández-Hernández *et al.* (2016) utilizaron el método de acetosol en fibras de residuos de hojas de agave para cambiar la topografía de la superficie de la fibra y provocar su deslignificación.

En este trabajo se utilizó el procedimiento para analizar los cambios en la rigidez de la fibra de coco y su efecto en la conductividad térmica a la hora de reducir el porcentaje de lignina. Además, como se puede observar en la tabla 1, el tratamiento de acetosol en efecto resultó en la reducción de lignina en la fibra en comparación, tanto con el tratamiento de acetosol y la fibra sin tratar. Además, del proceso se obtuvo una reducción de los extractivos liposolubles.

El tratamiento con acetona se utilizó para eliminar impurezas adheridas a la superficie de la fibra, grasas vegetales, materiales cerosos, reducción de los extractivos liposolubles y analizar los cambios en la conductividad térmica de la fibra al no contar con las impurezas para realizar una comparación entre las distintas configuraciones o tratamientos con los que se trabajó la fibra (TAPPI, 1999). En este caso, según la tabla 1, la fibra tratada con acetona no llevó a efecto ningún cambio que se pueda denotar de forma cuantitativa, dado que su composición es similar a la de la fibra sin tratamientos.

Una vez aplicados los tratamientos, se formaron placas de fibra sin aglutinante de las cuales se observó que las placas más rígidas son las que se realizaron con el tratamiento de acetona. Esto dado su alto porcentaje de lignina. No obstante, las placas perdían su forma, ya que no tenían la capacidad de entrelazar las fibras por medio de calor y prensado, obteniendo placas no homogéneas, sin rigidez ni resistencia a la tracción.

Por último, las placas a las que se aplicó acetosol presentaron una coloración marrón como se muestra en la figura 2; producto del proceso de deslignificación ácida, su rigidez y resistencia a la tracción fueron casi inexistentes, ya que las placas perdían su forma con mayor facilidad y en menor tiempo, como se observa en la figura 3. Por esta razón, se planteó la posibilidad de añadir un aglutinante en pruebas posteriores.

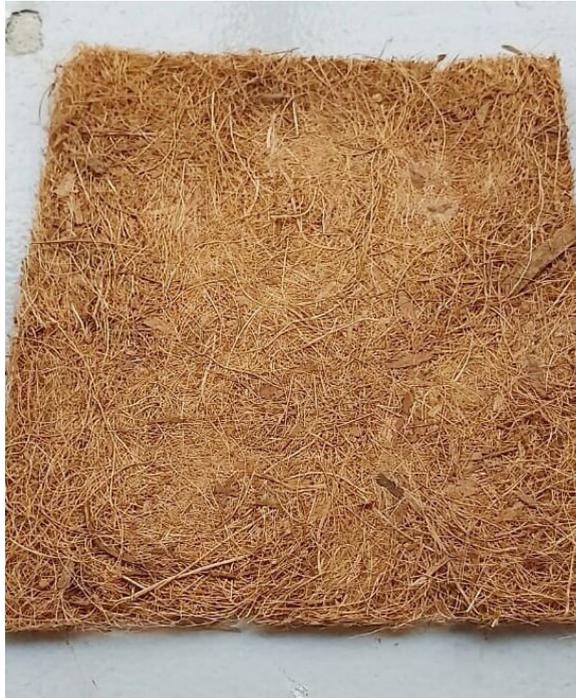
FIGURA 2

FIBRA DE COCO TRATADA MEDIANTE EL MÉTODO DE ACETOSOL



FIGURA 3

PANEL DE FIBRA DE COCO SIN TRATAMIENTO Y SIN LA PRESENCIA DE AGLUTINANTES



Los datos de conductividad térmica de las placas de fibra de coco confeccionadas sin aglutinantes de los tres tratamientos se muestran en la tabla 2. En la tabla 3 se encuentran los valores del análisis estadístico de los resultados de conductividad térmica, los cuales indican que los tratamientos son significativamente diferentes, además los datos se reportan con un 95 % de confianza.

TABLA 2

DATOS DE COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONDUCTIVIDAD TÉRMICA

	Acetona (Wm ⁻¹ °C ⁻¹)	Acetosol (Wm ⁻¹ °C ⁻¹)	Fibra pura (Wm ⁻¹ °C ⁻¹)	Fibra pura + PLA (Wm ⁻¹ °C ⁻¹)
1	0,07600	0,1322	0,0553	0,2308
2	0,06700	0,1234	0,0094	-0,5333
3	0,08464	0,1322	0,0189	0,6839
4	0,09226	0,1495	0,0067	-0,3550
5	0,07579	0,1278	0,0757	0,3199
Media	0,079±0.001	0,133±0.001	0,033±0.031	0,06926 ± 0,5

TABLA 3

DATOS OBTENIDOS UTILIZANDO EL MÉTODO LSD DE FISHER

Factor	N	Media	Agrupación***
Acetosol	5	0,13302	A
Acetona	5	0,07916	B
Fibra pura	5	0,03320	C

***Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Según los datos presentados en la tabla 3, al realizar la deslignificación de la fibra de coco hay un aumento en la capacidad de conducción de calor. Por su parte, con la aplicación del tratamiento con acetona, nuevamente se presenta un aumento del coeficiente de conductividad térmica en comparación a la fibra de coco sin tratar. Las mediciones realizadas permiten diferenciar que el método más práctico para la elaboración de las placas de aislamiento térmico es la utilización de la fibra de coco sin tratamientos, ya que posee un coeficiente de conductividad menor. Esto quiere decir que la transferencia de la energía cinética a través de las placas como resultado de un gradiente de temperatura se dará con mayor dificultad, lo cual le otorga al material la cualidad de ser aislante térmico.

Según un estudio en el que realizó una caracterización fisicoquímica y térmica de la lignina de la médula de coco, se observó que reducir la lignina disminuye la estabilidad térmica del material (Asoka Panamgama y Peramune, 2018).

Por otro lado, en una investigación en la que se elaboraron paneles de aislamiento térmico a partir de fibra de coco sin el uso de aditivos y sin tratamientos a las fibras, se reportó que la fibra de coco posee aproximadamente una conductividad térmica de (0,046-0,068) $W^{\circ}C^{-1}m^{-1}$ y una composición de 36,73 % de lignina (Panyakaew y Fotios, 2011). Se logra observar una variación en los datos obtenidos en comparación con las fuentes consultadas, ya que se cuenta con el aumento en la composición de lignina y una reducción en el coeficiente de conductividad térmica.

En la tabla 4 se presenta una comparación de la conductividad térmica de la fibra de coco con los distintos tratamientos y otros materiales comerciales. Se observa un incremento en la conductividad térmica de la fibra de coco sin tratar con la adición de ácido poliláctico (PLA) como aglutinante.

Según el estudio de Molina *et al.* (2021), la conductividad térmica del PLA es de (0,13 - 0,16) $W/m^{\circ}C$. Esto quiere decir que la presencia del PLA en porcentajes entre (25,29-30,85) % provoca un aumento en la conductividad térmica del material.

TABLA 4

CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DE LA FIBRA DE COCO CON LOS DISTINTOS TRATAMIENTOS COMPARADA CON OTROS MATERIALES

Material	Conductividad térmica (W/ $m^{\circ}C$)	Fuente
Fibra de coco sin tratar	0,033± 0,031	
Fibra de coco sin tratar con la adición de PLA	0,06926 ± 0,5	
Fibra de coco tratada con acetona	0,079± 0,001	
Fibra de coco tratada con acetosol	0,133± 0,001	
Espuma de polietileno (PE)	0,04± 0,01	(Pfundstein <i>et al.</i> , 2008)
Espuma de poliestireno extruido (XPS)	0,035± 0,007	(Pfundstein <i>et al.</i> , 2008)
Perlita expandida (EPB)	0,06± 0,02	(Pfundstein <i>et al.</i> , 2008)
Fibra de vidrio	0,04± 0,01	(Pfundstein <i>et al.</i> , 2008)

Cuando se aplica el prensado en caliente de la fibra de coco con los distintos tratamientos sin la implementación de aglutinantes, se obtiene una distribución de la fibra heterogénea en su totalidad y no posee elasticidad, rigidez o fuerza a la tracción. Por ello, se añadió ácido poliláctico (PLA) como aglutinante, ambos materiales se sometieron a un tamizado para alcanzar un grado de homogeneidad en las placas, que mejore sus propiedades físicas al ser unidos en un panel.

Para la fabricación de las placas se utilizó la fibra de coco sin tratar, dada su composición y capacidad como aislante térmico. Se seleccionó PLA debido a que es un termoplástico con un punto de fusión de 150-162 °C, un módulo de tracción específico (E^*) de 0,28-2,80 kNm g⁻¹, densidad de 1,21-1,25 gcm⁻³, es fácil de sintetizar, biodegradable, con propiedades físicas y mecánicas útiles para la elaboración de placas de aislamiento térmico que permitan su maleabilidad (DeStefano *et al.*, 2020).

FIGURA 4

PANEL DE FIBRA DE COCO SIN TRATAMIENTO CON PLA COMO AGLUTINANTE SIN PRENSAR



FIGURA 5

PANEL DE FIBRA DE COCO SIN TRATAMIENTO PENSADO EN CALIENTE CON PLA COMO AGLUTINANTE



Los datos correspondientes a los ensayos de tracción aplicados a las placas de fibra de coco confeccionadas con PLA como aglutinante se muestran en la tabla 5. Para el análisis estadístico de las pruebas de tracción, se utilizó la prueba de Barlett y se determinó un X_o^2 de 5.03 y un $X_{(a,k-1)}^2$ de 7,815; por lo que el diseño estadístico posee una varianza constante. El mismo se reporta con un 95 % de confianza.

TABLA 5

DATOS EXPERIMENTALES CORRESPONDIENTES A LAS PRUEBAS DE TRACCIÓN

Placas	Tamaño de partícula (mm)	Porcentaje de PLA (%)	Media de la fuerza en tracción (N)
1, 2 y 3	4	30,85	174,33± 27,34
4, 5 y 6	1,5	30,85	290,33± 48,73
7, 8 y 9	4	25,29	112,33± 12,28
10, 11 y 12	1,5	25,29	171,67± 47,26

Los ensayos de tracción se analizaron mediante un diseño factorial 2^2 para el cual se tomó como parámetro el tamaño de partícula de fibra de coco y el porcentaje de PLA a lo largo de cada placa. Según los datos presentados en la tabla 5, al trabajar con un tamaño de partícula de 1,5mm y 30,85 % de PLA, hay un aumento en la capacidad resistir la fuerza en tracción antes de su fractura. Las mediciones realizadas y el análisis estadístico permiten diferenciar que el tamaño de la partícula influye en la resistencia de la placa: Un menor tamaño de partícula permite obtener una mayor homogeneidad en la confección de la placa, así como también permite una mejor distribución del PLA a lo largo de la misma; esto se debe a que cuanto mayor tamaño posea la fibra, presentará mayores imperfecciones, lo cual afecta el funcionamiento del material; además, se observó en una investigación que la vida útil de la fibra de coco es aproximadamente de 30 a 50 años (Escudero y Aristizábal, 2017).

En la figura 5 se observa que no existe interacción entre los factores considerados para los ensayos de tracción, lo cual se afirma por medio del Valor-p obtenido de manera experimental correspondiente a (0,746); en la figura 6 se estudia el comportamiento y la tendencia de los efectos donde nuevamente se determina que el mejor comportamiento de las placas de fibra de coco con PLA está sujeto a un tamaño de partícula de 1,5mm y un 30,85 % de ácido poliláctico.

FIGURA 6

GRÁFICA DE INTERACCIÓN DE LOS FACTORES

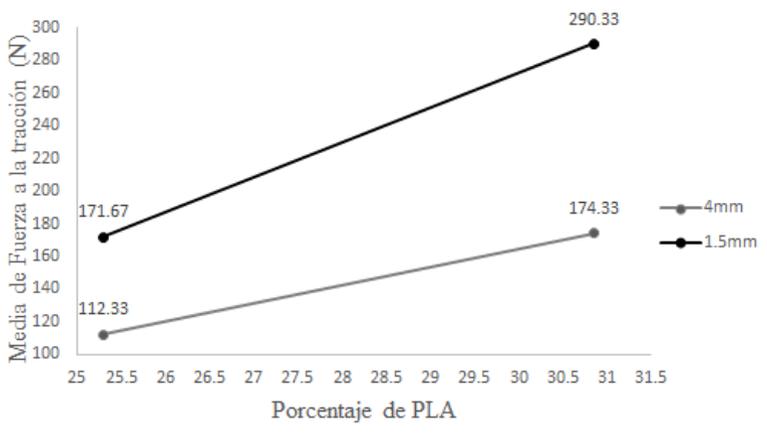
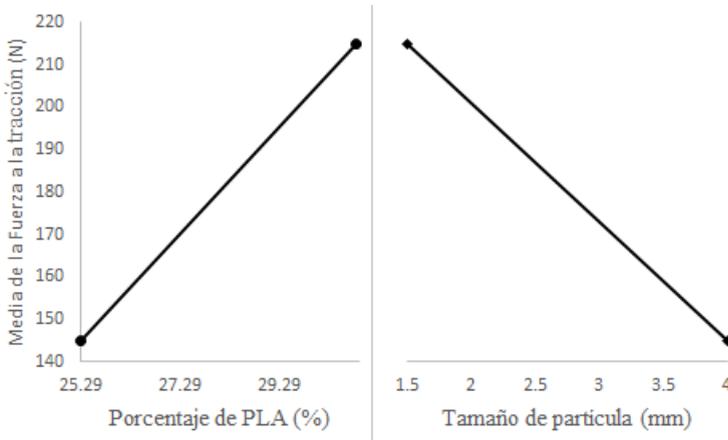


FIGURA 7

GRÁFICA DEL COMPORTAMIENTO DE LOS EFECTOS O FACTORES



Conclusiones

Para la realización de un material aislante a partir de mesocarpio de coco se debe emplear la fibra sin ningún tratamiento, pues los resultados obtenidos en los coeficientes de conductividad térmica demuestran que el tratamiento de deslignificación aumenta la conductividad térmica.

Es claro que los paneles aislantes sin aglutinantes fabricados con fibra de coco no son aptos para su comercialización, ya que no muestran mayores propiedades mecánicas dado que no cumplen requisitos. Una alternativa es la adición del PLA en un proceso de prensado a una temperatura entre (186-190) °C, una presión entre (9,8-14,7) KPa, durante 7 minutos y reduciendo el tamaño de la fibra a un tamizado de 1,5 mm. Es importante destacar que a las condiciones anteriores el PLA no pierde sus propiedades mecánicas, no reduce su vida útil ni se expone a una degradación térmica del material. A su vez, les otorga maleabilidad a los paneles y una resistencia a la tracción de hasta $290,33 \pm 48,73$ N.

Para introducir este tipo de aislante térmico al mercado, es necesario realizar nuevas investigaciones relacionadas con el crecimiento de hongos, control de humedad, absorción de agua y vida útil, ya que con este estudio no es posible determinar si el aglu-

tinante al ser un plástico, otorga en su totalidad sus propiedades impermeables.

Referencias

- Alvarado-Chacón, G., Campos-Delgado, R. y Belisario-Rivera, D. (2018). *Estudio de mercado para la introducción de una bebida a base de pipa en el mercado costarricense*. Repositorio TEC <http://hdl.handle.net/2238/10093>
- Anuar, M. F., Fen, Y. W., Zaid, M. H. M., Matori, K. A. y Khaidir, R. E. M. (2018). Synthesis and structural properties of coconut husk as potential silica source. *Results in Physics*, 11, 1-4. <https://doi.org/10.1016/j.rinp.2018.08.018>
- Asoka Panamgama, L. y Peramune, P. (2018). Coconut coir pith lignin: A physicochemical and thermal characterization. *International Journal of Biological Macromolecules*, 113, 1149-1157. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.03.012>
- ASTM INTERNATIONAL. (2017). *Standard Test Method for Tensile Properties of Geotextiles by the Wide-Width Strip Method*. <https://www.astm.org/d4595-17.html>
- Campos-Rodríguez, R. y Soto-Córdoba, S. (2014). *Fortalecimiento de las actividades ambientales municipales mediante el apoyo en la planificación de la gestión integral de residuos sólidos en el cantón de Guácimo*. RepositorioTEC. <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/6461>
- Cimons, M. (2014, 23 julio). *Company converts coconut husk fibers into materials for cars and homes*. Phys.Org. <https://phys.org/news/2014-07-company-coconut-husk-fibers-materials.html>
- DeStefano, V., Khan, S. y Tabada, A. (2020). Applications of PLA in modern medicine. *Engineered Regeneration*, 1, 76-87. <https://doi.org/10.1016/j.engreg.2020.08.002>
- Ellison, M. (2013). Biomimetic Textiles. *Engineered Biomimicry* (pp. 247-265). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-415995-2.00010-6>
- Escudero, A. J. y Aristizábal, J. C. (2017, 23 agosto). *Caracterización mecánica de fibras de coco como refuerzo de materiales compuestos poliméricos*. Universidad Libre. <https://repository.unilibre.edu.co/handle/10901/10374>

- Farley, S. (2013, 19 diciembre). *10 top medicinal foods and herbs of Costa Rica*. Enchanting Costa Rica. <https://enchanting-costarica.com/nature-and-adventures/10-top-medicinal-foods-and-herbs-of-costa-rica/>
- Hames, B., Ruiz, R., Scarlata, C., Sluiter, A., Sluiter, J. y Templeton, D. (2008, junio). *Preparation of Samples for Compositional Analysis* (NREL/TP-510-42620). Laboratory Analytical Procedure (LAP). <https://www.nrel.gov/docs/gen/fy08/42620.pdf>
- Hernández-Hernández, H., Chanona-Pérez, J., Vega, A., Ligeró, P., Mendoza-Pérez, J., Calderón-Domínguez, G., Terrés, E. y Farrera-Rebollo, R. (2016). Acetosolv treatment of fibers from waste agave leaves: Influence of process variables and microstructural study. *Industrial Crops and Products*, 86, 163-172. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.03.043>
- Ministerio de Salud. (2008). *Vertedero de Cartagena, Guácimo*. Ministerio de Salud de Costa Rica. <https://www.ministeriodesalud.go.cr/index.php/biblioteca-de-archivos/centro-de-informacion/material-publicado/investigaciones/inventario-de-georeferenciacion-y-de-caracterizacion-fisico-quimico-de-lixiviados-suelos-y-gases-en-sitios-de-disposicion-final-de-residuos/2415-vertedero-de-cartagena-guacimo/file>
- Molina, F., Crespi, X., Valero, C. y Ibáñez, I. (2021). *Propiedades del PLA*. Universitat Jaume. <https://sites.google.com/view/poliacidolactico-coma/poli%C3%A1cido-l%C3%A1ctico/propiedades-del-pla>
- Muthuraj, R., Lacoste, C., Lacroix, P. y Bergeret, A. (2019). Sustainable thermal insulation biocomposites from rice husk, wheat husk, wood fibers and textile waste fibers: Elaboration and performances evaluation. *Industrial Crops and Products*, 135, 238-245. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.04.053>
- Navacerrada, M., Díaz, C., Pedrero, A., Isaza, M., Fernández, P., Álvarez López, C. y Restrepo-Osorio, A. (2016). Caracterización acústica y térmica de no tejidos basados en fibras naturales. *EuroRegio2016*, 13-15. https://www.researchgate.net/publication/304245934_Caracterizacion_acustica_y_termica_de_no_tejidos_basados_en_fibras_naturales

- Panyakaew, S. y Fotios, S. (2011). New thermal insulation boards made from coconut husk and bagasse. *Energy and Buildings*, 43(7), 1732-1739. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.03.015>
- Pfundstein, M., Gellert, R., Spitzner, M. y Rudolph, A. (2008). *Insulating Materials: Principles, Materials, Applications* (1st ed.). Birkhauser Boston.
- Rincón, J. F., Rincón, P. G., Torres, E., Mondragón, A., Sánchez, M., Arana, A., Ortiz, A. y Jiménez, E. (2016). Caracterización fisicoquímica y funcional de la fibra de mesocarpio de coco (*Cocos nucifera* L.). *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 1(2), 279-284. <http://www.fcb.uanl.mx/IDCyTA/files/volume1/2/3/49.pdf>
- Samanta, A. K., Basu, G. y Mishra, L. (2018). Role of major constituents of coconut fibres on absorption of ionic dyes. *Industrial Crops and Products*, 117, 20-27. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.02.080>
- Sluiter, A., Hames, B., Ruiz, R., Skarlata, C., Sluiter, J., Templeton, D. y Crocker, D. (2012, august 3). *Determination of Structural Carbohydrates and Lignin in Biomass*. National Renewable Energy Laboratory (NREL). <https://www.nrel.gov/docs/gen/fy13/42618.pdf>
- TAPPI. (1999, 26 noviembre). *TAPPI T 280 - Acetone Extractives of Wood and Pulp | Engineering360*. <https://standards.globalspec.com/std/356807/TAPPI%20T%20280>
- Thinkohkaew, K., Rodthongkum, N. y Ummartyotin, S. (2020). Coconut husk (*Cocos nucifera*) cellulose reinforced poly vinyl alcohol-based hydrogel composite with control-release behavior of methylene blue. *Journal of Materials Research and Technology*, 9(3), 6602-6611. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.04.051>