

# Fabricación de láminas construidas a base de fibras naturales que absorben humedad relativa del entorno

## Manufacture of sheets made of natural fibers that absorb relative humidity from the environment

Sergio González-Serrud<sup>1</sup>, Ana Bernal<sup>1</sup>, Angélica Chung<sup>2</sup>, Nacari Marín<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Universidad Tecnológica de Panamá, Campus Víctor Levi Sasso, Facultad de Ingeniería Mecánica, Panamá

<sup>2</sup>Universidad Tecnológica de Panamá, Campus Víctor Levi Sasso, Facultad de Ingeniería Industrial, Panamá

**Fecha de recepción:** 18 de julio de 2021.

**Fecha de aceptación:** 2 de mayo de 2022.

\***Autor de correspondencia:** [nacari.marin@utp.ac.pa](mailto:nacari.marin@utp.ac.pa)

**Resumen.** En Panamá la humedad relativa en promedio es de 84.5%, por lo tanto, existe preocupación debido a que la elevada humedad relativa puede traer consigo problemas respiratorios a causa de bacterias y hongos. Por consiguiente, se hace imperativo disminuir el nivel de la misma en espacios cerrados. Se analizó la humedad relativa y la temperatura de láminas a base de fibras naturales (estopa de coco), almidón de arroz, sal gruesa y sílica gel, mediante el sensor de temperatura y humedad relativa DHT22 conjuntamente con una placa de Arduino Uno, con el objetivo principal de prototipar, evaluar, analizar y verificar si la mezcla de estos compuestos absorbe humedad relativa presente en un recinto. Los resultados obtenidos debido a las cuatro experiencias realizadas muestran que las láminas a base de fibras naturales si absorben humedad relativa. También se obtuvo que la razón de transferencia de calor de las láminas, la variación de temperatura, el área normal a la dirección de la transferencia de calor y la conductividad térmica del material es inversamente proporcional a la humedad relativa, mientras que el espesor es directamente proporcional a la misma. Los resultados de esta investigación mostraron que las láminas creadas son un tipo de material que tiende a absorber cierta cantidad de humedad relativa encontrada en el ambiente que la rodea, pero teniendo un límite de absorción. El uso de estas láminas a base fibras naturales para absorber humedad relativa debe ser estudiado con más profundidad, para sus posibles usos a escala comercial.

**Palabras clave.** Absorción de humedad relativa, fibras naturales, estopa de coco, humedad relativa.

**Abstract.** In Panama, the average relative humidity is 84.5%, therefore, there is concern because high relative humidity can bring respiratory problems due to bacteria and fungi. Therefore, it is imperative to lower its level in closed spaces. The relative humidity and temperature of sheets based on natural fibers (coconut tow), rice starch, coarse salt and silica gel were analyzed, using the DHT22 temperature and relative humidity sensor, still with an Arduino Uno board, with the main objective of prototyping, evaluating, analyzing and verifying if the mixture of these compounds absorbs relative humidity present in an enclosure. The results obtained due to the four experiments carried out showed that the sheets based on natural fibers do absorb relative humidity. It was also obtained that the heat transfer ratio of the sheets, the temperature variation, the area normal to the direction of heat transfer and the thermal conductivity of the material is inversely proportional to the relative humidity, while the thickness is directly proportional to it. The results of this research show that the sheets created are a type of material that tends to absorb a certain amount of relative humidity found in the surrounding environment but having an absorption limit. The use of these sheets based on natural fibers to absorb relative humidity must be studied in greater depth, for their possible uses on a commercial scale.

**Keywords.** Absorption of relative humidity, natural fibers, coconut tow, relative humidity.

## 1. Introducción

Los niveles de humedad relativa de 65% o más, de forma permanente pueden ser perjudiciales para las personas que permanezcan en espacios cerrados. En Panamá, la humedad relativa promedia 79% en la temporada seca y para la temporada lluviosa promedia 90% [1]. La excesiva humedad relativa puede traer como resultado problemas respiratorios a causa de bacterias y hongos y, en algunos casos, puede afectar objetos como muebles y la estructura de edificaciones. Además, la misma puede estar presente detrás de la cerámica y recubrimientos, causando manchas y descamación de superficies. La humedad relativa alta puede perjudicar el funcionamiento de los aparatos eléctricos siendo uno de los principales causantes de los cortocircuitos. Equipos como televisores, computadoras, e incluso los celulares inteligentes en contacto con partículas de agua del medio ambiente pueden dañarse. Así mismo, la humedad relativa puede desencadenar crisis alérgicas y la aparición de inflamación y otras enfermedades más graves en el sistema respiratorio. Dispositivos deshumidificadores [2] y materiales absorbentes de humedad relativa existen en el mercado, sin embargo, estos dispositivos y materiales suelen ser costosos. La capacidad de absorber humedad relativa de materiales naturales como el arroz ha sido valorada por [3], [4], [5] lo que deja la puerta abierta a la investigación y aprovechamiento de materiales que normalmente son considerados como materiales de desecho. Un ejemplo de ello es la estopa de coco, la que ha sido estudiado por su potencial de aislante térmico [6] y acústico [7]. La estopa de coco se ha combinado con el almidón de arroz como aglomerante por su alto contenido de amilosa y amilopectina, moléculas que dan como resultado la propiedad de adhesividad [8].

Este artículo tiene como objetivo principal evaluar, analizar y verificar el rendimiento de láminas fabricadas a base de materiales naturales y conocer si estas absorben la humedad relativa presente en un recinto con dimensiones de 2.62 metros de altura, 3.47 metros de ancho 3.92 metros de profundidad.

## 2. Fabricación de las láminas

En la actualidad, el aprovechamiento de materiales que se convierten en desechos naturales, son de una gran importancia para el cuidado del planeta. La reutilización de estos compuestos justifica efectivamente su estudio en diferentes aspectos que los hacen valiosos para el mercado en general. Para este proyecto, se lograron identificar los siguientes compuestos naturales para ser utilizados como materiales: estopa de coco como fibra de refuerzo; azúcar, vinagre de manzana y arroz triturado como aglomerante, debido a sus

excelentes propiedades de cohesión y adhesión con respecto a otros materiales [9]. En [10] se utilizaron estos materiales para crear una mezcla adhesiva demostrando así las propiedades antes mencionadas. Por último, se utilizaron sal y sílica gel para dotar al material de características como absorbente de humedad relativa.

Las láminas fueron fabricadas empleando un molde de aluminio de 130 mm de ancho, 160 mm de largo y 13.5 mm de espesor.

Entre los equipos que se utilizaron para la fabricación de las láminas se tienen:

- Balanza de cocina electrónica (modelo EK3820 de la marca CAMRY). La balanza que se utilizó cuenta con una precisión de  $\pm$  de 0.1 gramos.
- Vernier o calibrador de vernier (modelo TMT312001 de la marca TOTAL. Cuenta con dos nonios, uno en pulgada (1/128") y otro nonio en milímetros (0.05 mm).

En la figura 1 se muestran los materiales utilizados para la fabricación de láminas.



Figura 1. Materiales utilizados para la fabricación de las láminas.

A continuación, se procede a detallar el proceso de creación del pegamento de arroz y la fabricación de láminas a base de estopa de coco; una con sal y otra con sílica gel.

### 2.1 Fabricación del pegamento de arroz

La iniciativa de utilizar arroz como adhesivo para este experimento se debe a sus propiedades de cohesión y adhesión. El almidón presente en el arroz ha demostrado características adhesivas, ligante, enturbiantes, formador de películas, estabilizante de espumas, conservante para el pan, gelificante, aglutinante, entre otras [11]. Además, se emplearon componentes como bicarbonato de sodio, vinagre y azúcar para lograr un aglomerante más efectivo, gracias a la presencia de

la sacarosa. Los polímeros de sacarosa presentan un comportamiento viscoelástico, de ahí se derivada su uso en diferentes mercados [12].

Para crear este adhesivo, se utilizaron 65 gramos de arroz blanco, 15 ml de vinagre de manzana, 6 gramos de bicarbonato de sodio, 15 gramos de azúcar y 300 ml de agua. El proceso de mezclado se hizo de manera artesanal. Se trituro el arroz y luego se procedió a verterlo en una olla, agregándole agua, azúcar, bicarbonato de sodio y vinagre de manzana; todo esto a fuego medio hasta obtener una mezcla blanca y pegajosa, tal y como se muestra en la figura 2.



**Figura 2.** Resultado final del pegamento a base de arroz.

Al triturar granos de arroz y llevarlos a cocción, se producen modificaciones estructurales en el almidón, manifestando propiedades típicas como la hidratación, y las propiedades ligadas con la presencia de estructuras cristalinas como complejo de amilosa, amilopectina y/o amilosa retrogradadas los que produce propiedades adhesivas [10].

Los porcentajes de cada material empleados corresponden a la matriz aglomerante (pegamento de arroz) y el resto de los materiales corresponden al refuerzo de la lámina [13]. La mezcla entre la matriz aglomerante y las fibras de estopa de coco se llevó a cabo de forma artesanal, donde en un molde se colocaron poco a poco la combinación del pegamento y las fibras de refuerzo.

## 2.2 Lámina de estopa de coco, pegamento de arroz y sal

En la creación de esta lámina para el ensayo de absorción de humedad relativa, se utilizaron 29.4 gramos de estopa de coco, 14.3 gramos de sal gruesa y 59.2 gramos de pegamento de arroz (posterior al pesado, la sal gruesa se mezcló con el aglomerante de arroz). En términos de porcentaje se utilizó

28.57% de fibra de coco, 13.9% de sal gruesa y 57.53% de pegamento de arroz. Como molde se utilizó una bandeja de aluminio (158.80 mm de largo, 16.0 mm de profundidad, 130 mm de ancho) utilizada comúnmente para hornear. En primer lugar, se dividió la estopa de coco en seis partes iguales, quedando por cada parte 4.90 gramos de estopa de coco. Luego, se procedió a dividir la mezcla de aglomerante de arroz con sal en seis partes iguales, quedando por parte 12.25 gramos. Seguidamente se colocó en la bandeja de aluminio 4.90 gramos de estopa de coco, seguidas de 12.25 gramos de la mezcla sal y aglomerante, este proceso se repitió cinco veces más. Terminado el proceso de construcción de la lámina se llevó al horno sin precalentar para que el secado del aglomerante fuera más rápido. El horno empleado funciona con gas y posee 16 pulgadas de alto, 16.50 pulgadas profundidad y 25.60 pulgadas de ancho. Este horno se colocó a 130 °C durante 15 minutos. Después se dejó que el secado de la lámina fuera de manera natural (secado al sol). Las primeras experiencias se realizaron después de pasado 30 horas después de haber dejado reposar de manera natural la lámina.

Las dimensiones finales de la lámina de estopa de coco, pegamento de arroz y sal fueron 158.80 mm de largo, 13.57 mm de profundidad, 130 mm de ancho.



**Figura 3.** Resultado final de la lámina de estopa de coco, pegamento de arroz y sal gruesa.

## 2.3 Lámina de estopa de coco, pegamento de arroz y sílica gel

Para fabricar esta lámina de prueba de absorción de humedad relativa, se utilizaron 11.5 gramos de sílica gel, 29.4 gramos de fibra de coco y 39.5 gramos de pegamento de arroz. En otras palabras, se usaron 14.30% de sílica gel, 36.57% de estopa de coco y 49.13% de pegamento de arroz. Después del pesado individual de cada elemento se procedió a mezclar el aglomerante de arroz con la sílica gel. Como recipiente de la

lámina se utilizó una bandeja de aluminio (158.80 mm de largo, 16.0 mm de profundidad, 130 mm de ancho) utilizada comúnmente para hornear. Lo primero fue dividir la estopa de coco en seis partes iguales quedando por cada parte 4.90 gramos de estopa de coco. Luego se procedió a dividir la mezcla de aglomerante de arroz con la sílica gel en seis partes iguales, quedando por parte 8.5 gramos de la mezcla aglomerante de arroz y la sílica gel. Seguidamente se colocó en la bandeja de aluminio 4.90 gramos de estopa de coco y 8.5 gramos de la mezcla sílica gel y aglomerante. Este proceso se repitió cinco veces más. Al finalizar el proceso de secado de esta lámina, se llevó juntamente con la lámina de estopa de coco, aglomerante de arroz y sal gruesa al mismo horno sin precalentar. Es decir, las dos láminas estaban al mismo tiempo en el horno. Las primeras experiencias se realizaron después de pasado 30 horas después de haber dejado reposar de manera natural la lámina (secado al sol).

Las medidas finales de la lámina de estopa de coco, pegamento de arroz y sílica gel fueron 158.80 mm de largo, 13.70 mm de profundidad, 130 mm de ancho.



**Figura 4.** Resultado final de la lámina de estopa de coco, pegamento de arroz y sílica gel.

### 3. Metodología

Como parte de este estudio, se llevaron a cabo 4 experiencias, en las que se evaluaron 2 láminas de fibras naturales con el objetivo de verificar su capacidad de absorción de humedad relativa, mediante la medición de temperatura, humedad relativa del aire circundante, del espesor y pesado de las láminas. Estas variables de temperatura y humedad relativa fueron medidas mediante un sensor de temperatura y humedad relativa DHT22 juntamente con una placa de Arduino Uno. Una lámina contaba con estopa de coco, aglomerante de arroz,

sal gruesa y la otra con estopa de coco, aglomerante de arroz y sílica gel.

Para la primera experiencia de esta investigación se tomaron cinco medidas de humedad relativa y temperatura en cada uno de los elementos de interés (en la región en contacto con las láminas y el ambiente del recinto), divididas en cinco horas continuas. Esto quiere decir que las medidas de humedad relativa y de temperatura se llevaron a cabo en un intervalo de una hora y con cinco repeticiones. Por lo tanto, al pasar las cinco horas se contaba con 15 medidas de humedad relativa y 15 medidas de temperatura. En conclusión, se llevaron a cabo 5 medidas de humedad relativa y 5 medidas de temperatura por cada experiencia realizada (total de 3). Obtenido los datos de interés se procedió a sacar un promedio para la humedad relativa y la temperatura para cada elemento de estudio.

Para la segunda experiencia las mediciones fueron de la misma forma, solo que se agregó otra variable o elemento de estudio. El elemento agregado fue un cajón de madera recubierto con tela de fieltro.

En la tercera experiencia se contó igualmente con el cajón de madera, pero además se colocó en el interior del cajón dos litros de agua en un recipiente en forma de contenedor abierto. La idea de agregar agua dentro del cajón era verificar el aumento o disminución del espesor de las láminas transcurridas 24 horas.

Por lo tanto, en la tercera experiencia se realizaron tres tipos de mediciones, medición de humedad relativa, temperatura y medición de espesor de las láminas. La medición de humedad relativa y de temperatura se llevó a cabo en la región en contacto con cada una de las láminas, en el cajón de madera y en el recinto. Estas mediciones, a diferencia de la primera y segunda experiencia, se midieron dos veces, para evitar así la apertura constante del cajón de madera. Se realizó una medición de humedad relativa, temperatura y de espesor de las láminas el día 1, se cerró el cajón de madera, 24 horas después nuevamente se abrió el cajón de madera y se realizan las mediciones descritas.

En la cuarta experiencia, se procedió a pesar las dos láminas de estopa de coco y aglomerante de arroz. Este pesaje de las láminas se llevó a cabo después de 11 meses y tres semanas de la creación de estas y el otro pesaje se realizó pasado 24 horas del primer pesaje, es decir después de 11 meses y 22 días de la creación de las láminas. Esta experiencia se realiza con el fin de verificar las láminas de estopa de coco y aglomerante de arroz siguen absorbiendo humedad relativa al cabo de un año de su fabricación. El procedimiento realizado fue el siguiente: se pesaron las láminas, luego se colocaron en el cajón de madera recubierto con tela de fieltro, con dimensiones 250 mm x 400 mm x 400 mm. Este cajón se encontraba dentro del

recinto con un envase con dos litros de agua, ya mencionado en la experiencia tres. Pasada 24 horas se procedió a retirar las láminas del cajón de madera y se pesaron.



**Figura 5.** Colocación del sensor DHT22 para medir la humedad relativa y la temperatura de las láminas en las tres experiencias.

Los equipos utilizados durante la evaluación de la capacidad de absorción de humedad relativa de las placas:

- Arduino Uno [14]. La placa “Arduino uno” es una placa electrónica. Tiene 14 pines digitales que son de entrada/salida, de las cuales seis se pueden utilizar como salidas PWM (modulación por ancho de pulsos) y otras seis son entradas analógicas. Esta placa electrónica tiene lo necesario para apoyar al microcontrolador, solo hay que conectar el Arduino Uno a una batería que hace de fuente de alimentación externa o a una computadora con un cable USB.
- Sensor DHT22. Es un sensor digital de humedad relativa y temperatura de buen rendimiento. Se compone de un termistor para medir el aire circundante y un sensor capacitivo de humedad relativa, y muestra los datos mediante una señal digital en el pin de datos (no posee salida analógica). Este sensor ha sido utilizado en diferentes investigaciones como lo son las aplicaciones de control automático de temperatura, y activación de aires acondicionados, entre otras.
- Conexión del sensor DHT22. Es necesario conectar el pin VCC de alimentación 5V, el pin “Ground” a tierra (0V) y el pin de datos a un pin digital (en nuestro caso se colocó en el número dos). Con este sensor y con el sensor DHT11 (versión anterior al DHT22) se pueden obtener nuevos datos cada dos segundos. Cada sensor es calibrado para obtener unos coeficientes de calibración grabados en

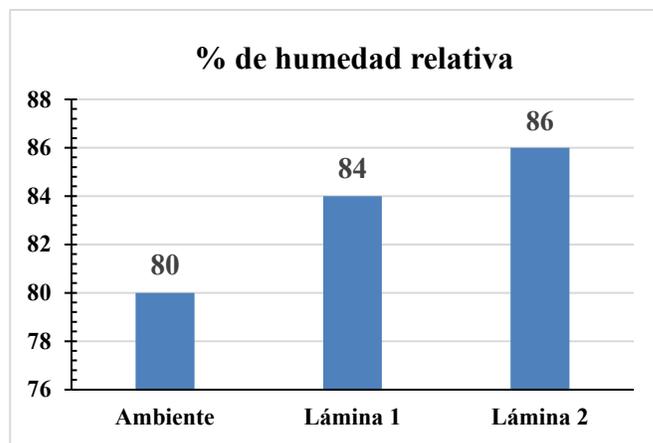
su memoria OTP (*One Time Programmable*), asegurando alta estabilidad y fiabilidad a lo largo del tiempo.

- Aplicación empleada para leer los datos de temperatura y humedad relativa. Se utilizó la aplicación Arduino IDE, es un entorno de desarrollo integrado de descarga gratuita en internet creado por la empresa Arduino. Cuenta con diferentes librerías, la utilizada para este proyecto fue la “DHT sensor library” desarrollado por la empresa “Adafruit Unified Sensor” [15].

## 4. Resultados

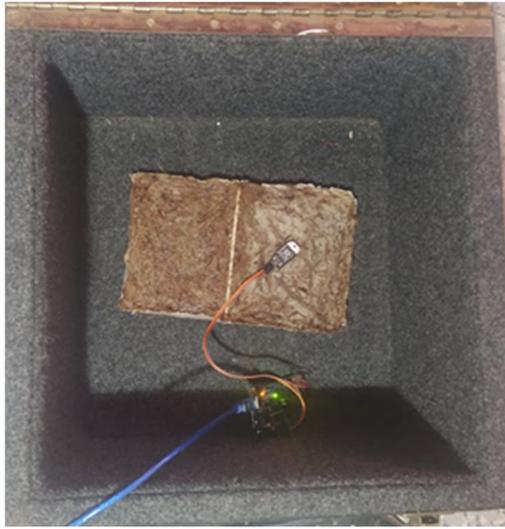
En esta sección, se presenta los resultados obtenidos, tras realizar mediciones de humedad relativa y de temperatura. Se ha dividido este apartado en cuatro experiencias, a fin de mostrar los resultados por separado.

En la primera experiencia los datos se recolectaron en el interior de un recinto (habitación de una casa con dimensiones de 2.62 metros de altura, 3.47 metros de ancho 3.92 metros de profundidad). Cuando se hace referencia a la lámina número 1 se cita a la lámina de estopa de coco, pegamento de arroz y sal gruesa, mientras que la lámina 2 corresponde a la lámina de estopa de coco, pegamento de arroz y sílica gel.

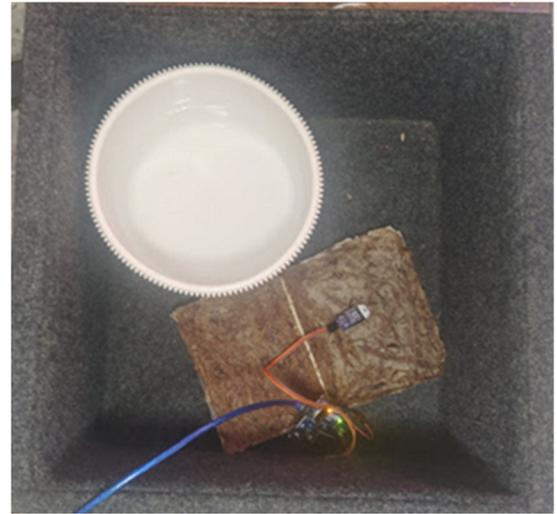


**Figura 6.** Porcentaje de humedad relativa promedio en la región en contacto con las láminas estudiadas y la humedad relativa promedio del ambiente del recinto. La temperatura promedio en los tres casos fue 30 °C.

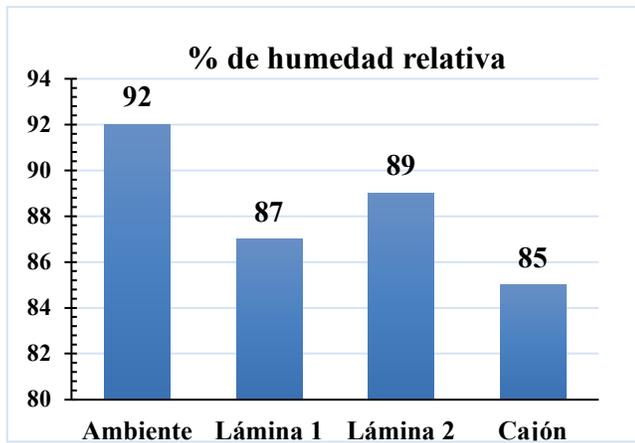
En la segunda experiencia, los datos de temperatura y humedad relativa se tomaron dentro de un cajón de madera recubierto con tela de fieltro, con dimensiones 250 mm x 400 mm x 400 mm, a su vez este cajón estaba dentro del recinto ya mencionado en la experiencia uno. Dentro y fuera del cajón, la temperatura mantuvo la misma temperatura promedio, con ambas láminas, ensayadas bajo las condiciones (27 °C).



**Figura 7.** Disposición de las láminas dentro del cajón durante la medición de temperatura y humedad relativa.



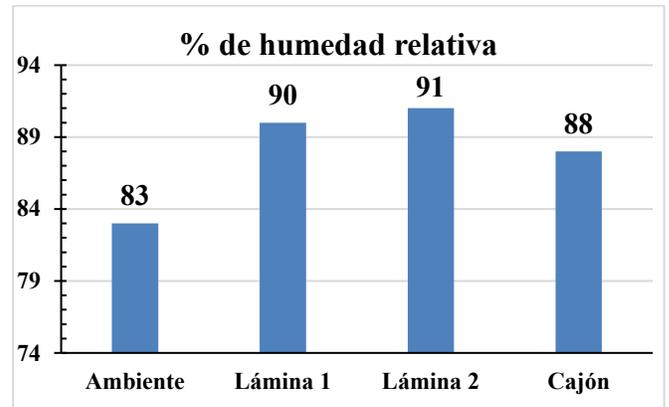
**Figura 9.** Disposición de las láminas y agua dentro del cajón durante la medición de temperatura y humedad relativa.



**Figura 8.** Porcentaje de humedad relativa promedio en el ambiente y dentro del cajón con las láminas estudiadas.

En la tercera experiencia, además de medir la temperatura y la humedad relativa; se colocó en el interior del cajón dos litros de agua para crear un ambiente más húmedo para las dos láminas de fibras naturales y así poder medir con mayor facilidad en caso si resultaba haber una variación de aumento o de disminución del espesor de las láminas pasadas las 24 horas.

Para la experiencia 2 y 3 el cajón de madera se mantenía hermético solo se abrió para tomar las respectivas mediciones de humedad relativa y temperatura.



**Figura 10.** Porcentaje de humedad relativa promedio de la región en contacto con las láminas estudiadas y la humedad relativa promedio del ambiente interno de la casa y del cajón.

**Tabla 1.** Se observa la temperatura promedio de las láminas estudiadas, la temperatura ambiente y la temperatura ambiente dentro del cajón

Temperatura promedio del ambiente	27 °C
Temperatura promedio de Lámina 1	29 °C
Temperatura promedio de Lámina 2	29 °C
Temperatura promedio del ambiente dentro del cajón	29 °C

**Tabla 2.** Medidas de grosor de las láminas transcurrido un día dentro del cajón

	10/27/2020	10/28/2020	Diferencia entre las medidas
<b>Lámina 1</b>	$\Delta X = 12.0$ mm	$\Delta X = 12.7$ mm	0.7 mm
<b>Lámina 2</b>	$\Delta X = 14.6$ mm	$\Delta X = 14.9$ mm	0.3 mm

Según la ecuación de Fourier para conducción de calor [20], el calor transmitido es inversamente proporcional al espesor de las láminas. Por lo tanto, el aumento de espesor nos indica que el calor transmitido por unidad de tiempo disminuye.

$$\dot{Q} = -KA \frac{\Delta T}{\Delta X} \quad (1)$$

Donde Q se denomina razón de transferencia de calor, K es la conductividad térmica del material,  $\Delta T$  diferencia de temperatura,  $\Delta X$  espesor de la lámina, A área normal a la dirección de la transferencia de calor. Reemplazando el valor de espesor ( $\Delta X$ ) de la lámina 1 y 2 (ver tablas 3 y 4):

**Tabla 3.** Comparación de la razón de transferencia de calor del día 1 y el día 2

<b>Lámina 1 (con sal gruesa)</b>	
Día 1	$\dot{Q} = 0.0833K(A)\Delta T$
Día 2	$\dot{Q} = 0.0787K(A)\Delta T$

**Tabla 4.** Comparación de la razón de transferencia de calor del día 1 y el día 2

<b>Lámina 2 (con sílica gel)</b>	
Día 1	$\dot{Q} = 0.0685K(A)\Delta T$
Día 2	$\dot{Q} = 0.0671K(A)\Delta T$

En la cuarta experiencia, además se procedió a pesar las láminas; se colocó en el interior del cajón dos litros de agua para crear un ambiente más húmedo para las dos láminas de fibras naturales y así poder medir con mayor facilidad en caso si resultaba haber una variación de aumento o de disminución del peso de las láminas pasadas las 24 horas.

**Figura 11.** Lámina de estopa de coco, pegamento de arroz y sal gruesa, transcurrido 11 meses de su fabricación.**Figura 12.** Lámina de estopa de coco, pegamento de arroz y sílica gel, transcurrido 11 meses de su fabricación.**Tabla 5.** Comparación de pesos de la lámina 1 correspondiente a la experiencia 4

<b>Lámina 1 (con sal gruesa)</b>	
Día 1	101.3 gramos
Día 2	106.3 gramos

**Tabla 6.** Comparación de pesos de la lámina 2 correspondiente a la experiencia 4

<b>Lámina 2 (con sílica gel)</b>	
Día 1	52.5 gramos
Día 2	54.9 gramos

## 5. Discusión de resultados

De acuerdo con [16], existe una relación inversamente proporcional entre la transferencia de calor y la humedad relativa, es decir, que son inversamente proporcionales. Entre más humedad relativa exista en las láminas, menor transferencia de calor se producirá entre la lámina y el ambiente. Basado en referencias consultadas [17], el experimento número tres (medición de espesores) y el experimento número cuatro se obtiene que la absorción de humedad relativa y el espesor de las láminas son directamente proporcional y se confirma la cualidad que tienen estas láminas para absorber humedad relativa. Este comportamiento es acorde al presentado en [5], donde se estudiaron y simularon los efectos del espesor de láminas a base de celulosa y el porcentaje de agua contenida en la lámina. Por consiguiente, el presente estudio corrobora que la humedad relativa y la variación o cambio de espesor de las láminas son directamente proporcionales.

En la lámina 1 se utilizó una mayor cantidad de goma de arroz que en la lámina 2, en otras palabras, del total de goma de arroz se utilizó 60% para la lámina 1 y un 40% para la lámina 2. Al tacto la textura de la lámina 2 era más firme que la lámina 1, debido a la gran cantidad de estopa de coco comparado con la goma de arroz.

Por otra parte, se decidió agregar un material con propiedades de absorción de humedad relativa. Para la lámina 1 se agregó sal gruesa y para la lámina 2 se agregó sílica gel. No se pudo llegar a un resultado concluyente sobre cual lámina tenía la capacidad de absorber mayor humedad relativa debido a que el sensor DHT22 cuenta con solo  $\pm 2\%$  humedad relativa de precisión y al momento de medir el espesor de las láminas estas contaban con rigideces distintas, por lo tanto, las mediciones con el pie de vernier no eran justas.

En [5] se investigó sobre la absorción de humedad relativa en distintos tipos de materiales, incluido un material a base de celulosa. Así mismo en [18], [19] se afirma que las fibras de estopa de coco contienen celulosa, lo que indica que materiales a base de celulosa como la estopa de coco tienen potencial para aplicaciones de amortiguación de humedad relativa dentro de interiores o recintos, apoyando los resultados obtenidos durante esta investigación.

La lámina 2 transcurrido un año sigue manteniéndose más firme que la lámina 1. Visualmente en la lámina 1 se observa mayor cantidad de organismos eucariotas que en la lámina 2, esto es debido a que a lo largo de los 11 meses transcurridos la lámina 2 se ha ido secando, mientras que la lámina uno se ha mantenido húmeda al tacto.

Cabe destacar la presencia de hongos en las láminas, como parte del proceso de degradación que se presentan en productos

a base de fibras naturales [20]. Como parte de los trabajos futuros, se espera continuar con este estudio, incluyendo elementos como el boro a la mezcla, para que el material tenga mayor resistencia a la aparición de hongos y resistencia al fuego [21].

Las láminas fabricadas tienen un límite de sorción, tal y como se reporta en [5]. La sorción incluye tanto la adsorción (que significa la acumulación de una sustancia en la superficie de un sólido o un líquido), como la absorción (que significa la asimilación de una sustancia dentro de la masa de un sólido o un líquido) [22]. Además, se concluye que las láminas tienen un límite de absorción debido a que si nunca parara de absorber humedad relativa las láminas se hubiesen desecho por la cantidad de agua que tienen en su interior. A partir de los resultados obtenidos en la experiencia 3 y 4, específicamente de la medida de los espesores y apoyado en [5], [17], [23], [24], se comprueba que tanto la lámina 1, como la lámina 2 absorben humedad relativa y por lo tanto se cumple con el objetivo principal de esta investigación. En base a los resultados obtenidos de la cuarta experiencia, mediante el pesado de las láminas antes y después de encontrarse expuestas a fuente de humedad relativa (envase con agua), se puede comentar que la absorción de humedad relativa pasado 11 meses y 22 días de la creación de las láminas es mayor para la lámina 1.

## 6. Conclusiones

Las ventajas que demuestra la creación de un absorbedor de humedad relativa, primeramente, son económicas ya que un deshumidificador hay que comprarlo, mientras que nuestras láminas de fibras naturales se pueden hacer a bajo costo.

La principal desventaja de estas láminas construidas a base de fibras naturales es que el usuario se verá imposibilitado configurar la cantidad de humedad relativa que desee que las láminas absorban.

A lo largo de la creación del proyecto se tuvo varias limitantes, entre las cuales se pueden mencionar: poca información específica del tema abordado en este artículo y por la situación sanitaria actual la experimentación se realizó en nuestro hogar, con las herramientas y aparatos disponibles.

Para la creación de un aglomerante natural se deben tener en cuenta la temperatura, las condiciones climáticas, los materiales con los que se va a mezclar, entre otras variables, ya que afectan al tiempo de secado completo requerido para cumplir su función.

Por otra parte, para conocer la proporción de fibras y aglomerante óptimo en donde las láminas absorban más humedad relativa, se deben realizar más pruebas con diferentes porcentajes de cada uno de sus componentes.

Los aportes científicos e ingenieriles son muy variados ya que se pueden utilizar los componentes de estas láminas como deshumificador natural, aunque con limitantes, ya que estas láminas tienen un límite de absorción de humedad relativa. De igual forma se podrán utilizar estos componentes y combinarlos en materiales que necesiten mantenerse con una humedad relativa más elevada que la ambiente.

Mediante la experiencia 3 se confirmó que la transferencia de calor reduce la presencia de humedad relativa, lo que coincide con referencias consultadas. Sin embargo, a pesar de los resultados obtenidos, para continuar con este proyecto se requiere contar con instrumentos con más precisión y con instrumentos que permitan medir otras variables como lo son el factor de resistencia al vapor de las láminas, efecto del espesor, cantidad de agua y humedad relativa contenida en las láminas. Así mismos se necesitan mediciones dentro de un laboratorio especializado para crear modelos probabilísticos que describa los procesos de absorción y adsorción de humedad relativa por parte de las láminas a base de fibras de estopa de coco y aglomerante de arroz. En definitiva, se requiere continuar con la investigación sobre el efecto sorción de las láminas en diferentes ambientes, condiciones de uso, tasas de producción de humedad relativa en el material y rendimiento del mismo.

## 7. Recomendaciones

Para continuar con el presente estudio se recomienda utilizar una bolsa de vacío para el pesado de la estopa de coco. Así mismo un análisis de degradación de las láminas. Esto podría lograrse sometiendo las láminas a una serie de pruebas bajo las mismas condiciones y observar su comportamiento.

Se recomienda hacer otras experiencias donde el secado sea totalmente natural y también otra experiencia donde el secado sea totalmente por un horno a baja temperatura.

## CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no tener algún conflicto de interés.

## REFERENCIAS

- [1] Climate-data.org, "Clima Panamá (Panamá)," 2019. [Online]. Available: <https://es.climate-data.org/america-del-norte/panama/panama/panama-5885/>. [Accessed Sep. 1, 2021].
- [2] Novey, "Deshumificador digital de 45 pintas Westpoint," [Online]. Available: <https://www.novey.com.pa/Deshumificador-digital-de-45-pintas-WESTPOINT>. [Accessed Sep. 5, 2021].
- [3] H.M. Kunzel, A. Holm, K. Sedlbauer, M. Ellinger, "Moisture buffering effects of interior linings made from wood or wood based products", IBP, Stuttgart, Alemania, Tech. Report, HTB-04/2004/e. 2004.
- [4] O.F. Osanyintola, P. Talukdar, C.J. Simonson, "Effect of initial conditions, boundary conditions and thickness on the moisture buffering capacity of spruce plywood", *Energy and Buildings*, vol. 38, no. 10, pp. 1283-1292, 2006, doi: 10.1016/j.enbuild.2006.03.024.
- [5] S. Cerolini, S. D'Orazio, C. D. Perna and A. Stazi, "Moisture buffering capacity of highly absorbing materials", *Energy and Buildings*, vol. 41, no. 2, pp. 164-168, 2009, doi: 10.1016/j.enbuild.2008.08.006.
- [6] R. Carvajal, A. Chung, A. Pérez, J. Solís, N. Marín, "Fabricación y caracterización de conductividad térmica de materiales aislantes a base de fibras naturales", *Revista De Iniciación Científica*, vol. 7, no. 1, pp. 67-70, Jun. 2021, doi: 10.33412/rev-ric.v7.1.3062.
- [7] N. Bhingare, S. Prakash and V. Jatti, "A review on natural and waste material composite as acoustic material", *Polymer Testing*, vol. 80, p. 106-142, Oct. 2019, doi: 10.1016/j.polymertesting.2019.106142.
- [8] A. Canto, "Aislante Térmico a base de materiales orgánicos", *Revista De Iniciación Científica*, vol. 4, pp. 48-51, Jun. 2018, doi: 10.33412/rev-ric.v4.0.1819.
- [9] A. Méndez, "Adhesivos", November 2013. [Online]. Available: <https://quimica.laguia2000.com/general/adhesivos>. [Accessed 31 Oct. 2020].
- [10] M. Loubes, "Molienda seca y húmeda de arroz en molino planetario. Cinética de la molienda, efectos de las condiciones de molienda en las propiedades funcionales de la harina y el almidón y diseño de mezcla para pastas sin gluten", Ph. D. dissertation, University of Buenos Aires, Argentina, 2015. Available: [https://bibliotecadigital.exactas.uba.ar/download/tesis/tesis\\_n5660\\_Loubes.pdf](https://bibliotecadigital.exactas.uba.ar/download/tesis/tesis_n5660_Loubes.pdf).
- [11] F. Santana, "Evaluación Físico Química de dos variedades de arroz, blanco (Oriza sativa L) y morado (Oriza sativa violácea) para determinar cualidades nutricionales", B. Sc. thesis, Autonomous Agrarian University Antonio Narro, Coahuila, México, 2007. Available: <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmllui/bitstream/handle/123456789/422/61072s.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- [12] A. Brown-Gómez, H. Vázquez, L. Alba, M. Reyna, J. L. García y M. Rodríguez, "Estudio de un polímero funcionalizado de sacarosa", *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, vol. 6, pp. 27-32, 2007. Available: <https://www.redalyc.org/pdf/620/62060104.pdf>.
- [13] J. Soto, M. Martínez, D. Ramirez, "Material compuesto a base de cascarilla de arroz y aglutinante modificado con nanoestructuras de carbono", U.S. Patent 2012/074350A1, June 7, 2012. Available: <https://patentimages.storage.googleapis.com/ef/64/62/99d050e99945ca/WO2012074350A1.pdf>.
- [14] Arduino Store, "Arduino Uno Rev3", [Online]. Available: <https://store-usa.arduino.cc/products/arduino-uno-rev3/?selectedStore=us>. [Accessed Jun. 5, 2020].
- [15] Adafruit, "Arduino Libraries", [Online]. Available: <https://learn.adafruit.com/adafruit-all-about-arduino-libraries-install-use>. [Accessed Jun. 5, 2020].
- [16] Y. Çengel and M. Boles, *Thermodynamics. An Engineering Approach*. New York, NY: McGraw- Hill, 2011.

- [17] Y. Çengel and A. Ghajar, Heat and mass transfer: Fundamentals & Applications. New York, NY: McGraw- Hill, 2015.
- [18] A. Pineda and J. Navarrete, "Obtención de celulosa microcristalina a partir de la fibra de estopa de coco", B. CH. E. thesis, University of Guayaquil, Guayaquil, Ecuador, 2017. Available: <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/18805/1/trabajo%20de%20grado%20cd.pdf>.
- [19] K. Ying Chua, A. Danial Azzahari, C. Naceur Abouloula, F. Sonsudin, N. Shahabudin and R. Yahya, "Cellulose-based polymer electrolyte derived from waste coconut husk: residual lignin as a natural plasticiz", Journal of Polymer Research, 27(5), 1-14., vol. 27, no. 5, pp. 1-14, 2020. Available: 10.1007/s10965-020-02110-8.
- [20] P. Baldrian and V. Valášková, "Degradation of cellulose by basidiomycetous fungi", FEMS Microbiology Reviews, vol. 32, no. 3, pp. 501-521, 2008, doi: 10.1111/j.1574-6976.2008.00106.x.
- [21] S. Noor, T. Yao, K. Muhammad and N. Yahya, "Thermal Insulation Improvement in Wall using Recycled Cellulose as An Alternative and its Physical Properties", Journal of Advanced Research in Engineering Knowledge, vol. 9, no. 1, pp. 26-31, 2019. Available: [https://www.akademiabaru.com/doc/AREKV9\\_N1\\_P26\\_31.pdf](https://www.akademiabaru.com/doc/AREKV9_N1_P26_31.pdf).
- [22] T. Kousksou, P. Bruel, A. Jamil, T. El Rhafiki and Y. Zeraouli, "Energy storage: Applications and challenges", Solar Energy Materials & Solar Cells, vol. 120, pp. 59-80, 2021. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0927024813004145>.
- [23] F. Gong, H. Li, Q. Zhou, M. Wang, W. Wang and Y. Lv, "Agricultural waste-derived moisture-absorber for all-weather atmospheric water collection and electricity generation", Nano Energy, vol. 74, no. 104922, 2020, doi: 10.1016/j.nanoen.2020.104922.
- [24] P. Mahajan, F. Rodrigues, A. Motel and A. Leonhard, "Development of a moisture absorber for packaging of fresh mushrooms (*Agaricus bisporous*)", Postharvest Biology and Technology, vol. 48, no. 3, pp. 408-414, 2008, doi: 10.1016/j.postharvbio.2007.11.007.