

# Experimental analysis of natural membranes for an indirect evaporative cooling system in the region of Colima, México

## Análisis experimental de membranas naturales para un sistema de enfriamiento evaporativo indirecto en la región de Colima, México

Roberto E. Cárdenas-Rodríguez<sup>1</sup> and Carlos J. Esparza-López<sup>\*2</sup>

<sup>1</sup> *Tecnológico Nacional de México Campus Colima (ITC), División de Estudios de Posgrado e Investigación, Maestría en Arquitectura Sostenible y Gestión Urbana,*

Av. Tecnológico No. 1, A.P. 10 y 128, Villa de Álvarez, Colima, México, 28976.

G2046017@colima.tecnm.mx

<sup>2</sup> *Universidad de Colima (UCOL), Facultad de Arquitectura y Diseño,*

Km 9 Carretera Colima-Coquimatlán, Colima, Colima, México, 28400.

cesparza@uocol.mx

### Abstract

The following document presents an investigation carried out on four types of local natural membranes of the region of Colima, Mx. and one of Kraft paper for possible use in an indirect evaporative cooling system for a region with a Warm Sub-humid climate, comparing them between them in different tests in order to know their efficiency due to their characteristics of liquid absorption, evaporation rate, and capillarity. The experiments were done in an enclosed space with a controlled temperature adjusting to the average dry bulb temperature during the wettest season in the region, covering the months of July – November. The purpose of the study is to use natural products found in the region to take advantage of them.

**Keywords**— Natural Fibers, Indirect Evaporative Cooling, Evaporation, Warm, Sub-humid.

### Resumen

El siguiente documento expone una investigación realizada a 4 tipos de membranas naturales locales de la región de Colima, Mx. y una de papel Kraft para su posible uso en un Sistema de enfriamiento evaporativo indirecto para una región con un clima Cálido Sub-húmedo, comparándolas entre ellas en distintas pruebas

con el fin de conocer su eficiencia debido a sus características de absorción de líquidos, velocidad de evaporación y capilaridad. Los experimentos se llevan a cabo en un espacio cerrado con una temperatura controlada ajustándose al promedio real de la temperatura de bulbo seco durante la temporada más húmeda de la región, abarcando los meses de Julio – Noviembre. El estudio tiene el propósito de utilizar productos naturales que se encuentran en la región para poder aprovecharlos.

**Palabras clave**— Fibras naturales, Enfriamiento Evaporativo Indirecto, Evaporación, Cálido, Sub-húmedo.

### I. Introducción

En las regiones de clima cálido húmedo son básicas en cualquier época del año las estrategias de protección solar y la ventilación por su efecto refrigerante directo y el enfriamiento derivado de la evaporación del sudor [1]. El mayor gasto de energía de las edificaciones viene del uso de sistemas de enfriamiento tradicionales, llegando a una demanda del 40-50 % del consumo de energía primaria [2, 3].

El enfriamiento pasivo son un conjunto de técnicas y procesos de aprovechamiento natural para reducir las temperaturas interiores en los espacios [4]. Las técnicas de enfriamiento pasivo se pueden clasificar en 3 tipos: Técnicas de protección solar y de calor, técnicas de mo-

\* Autor de correspondencia

dulación de calor y técnicas de disipación de calor [5]. Los sistemas de enfriamiento evaporativo entran en el grupo de técnicas de disipación de calor, éstas son más amigables con el ambiente que los sistemas que dominan el mercado como los de enfriamiento por compresión mecánica de vapor [2].

El sistema de enfriamiento evaporativo (EE) funciona como una estrategia que permite reducir la temperatura de un espacio, se logra al sacar el aire gastado por medio de la evaporación de agua, donde dos corrientes de aire chocan intercambiado su masa térmica por medio de una superficie humectada [6]. El empleo de sistemas de enfriamiento evaporativo resulta ideal para climas con las condiciones cálidas utilizando el principio de evaporación de agua para absorber el calor [6].

La idea principal de los sistemas de enfriamiento evaporativo indirecto (EEI) es disminuir el calor sensible de los espacios sin cargar el espacio de humedad [2], en este sistema el aire gastado se humidifica y tiene un contacto no directo con el aire que ingresa, logrando que éste se refresque sin añadir humedad [7]. Su mayor inconveniente es que dependen de las condiciones del aire ambiente para llevar a cabo su trabajo [3].

Además se puede destacar su eficiencia ante el gasto de energía, [8] comparó el uso de un sistema de EEI con un sistema convencional de enfriamiento tipo “Chiller” en un edificio de oficinas de 3 plantas, encontrando que el uso del sistema EEI logró una reducción del 41 % de energía con respecto al enfriador.

A medida que pasa el tiempo se ha buscado perfeccionar los sistemas de EEI realizando modificaciones a los elementos que componen los sistemas. [9] modificó el ingreso del aire gastado al intercambiador de calor para colocar boquillas que expulsan agua en diferentes características, roseando constantemente el aire para analizar y comparar los mejores resultados.

[10] realizó pruebas con 6 telas de ropa deportiva por su característica de alta capilaridad ante los líquidos, comparando su efectividad con el uso del papel Kraft el cual se utiliza comúnmente en los sistemas de enfriamiento evaporativo. A su vez afirma que el rendimiento de un sistema de enfriamiento evaporativo depende de las características de la membrana que utiliza éste.

[11] seleccionó 3 membranas naturales con las que realizó almohadillas con las que probó su desempeño para funcionar en un sistema de EEI. Dichas membranas fueron seleccionadas de la región de la ciudad de Bhopal, India. A su vez [12] estudió el desempeño que tiene la fibra del árbol Palash para funcionar como la membrana en un sistema de EEI, comparándolo con otras fibras que ya se habrían analizado con anterioridad.

[13] comparó las características de algunos materiales para identificar los más eficaces en el trabajo que realiza el sistema de EEI, dichos materiales son: tipos metálicos,

tipos de fibra, tipo cerámico, tipo zeolita y tipo carbón. Concluyó en que los materiales metálicos son los que trabajan de la mejor manera en los sistemas de enfriamiento pasivo por las características que presentan, a pesar de ser los más costosos.

Esta investigación tiene como objetivo llevar un análisis por medio de experimentos del desempeño de distintas fibras de origen natural para su posible uso en los sistemas de EEI. Dichas fibras se analizarán en diversas pruebas hídricas con la finalidad de identificar aquella con el mejor desempeño.

Con la investigación se intenta llegar al confort climático en espacios interiores tanto habitables como no habitables con materiales naturales de la región, de esta forma mejorar la calidad de vida de los usuarios que realicen actividades esos espacios.

Los experimentos en los que se someten las fibras son:

- CCV. Capacidad de capilaridad vertical.
- CCH. Capacidad de capilaridad horizontal.
- CA. Capacidad de absorción.
- VE. Velocidad de evaporación.

Para las pruebas se tomó en cuenta el promedio de la temperatura real de bulbo seco en °C que se tiene durante la temporada más cálida y húmeda del año en la zona de estudio, el propósito de esto es el de conocer el valor de la temperatura durante esos meses en este clima. El promedio de la temperatura para estas fechas se promedió a los 27°C.

## II. Materiales y métodos

### II.1. Periodicidad

La prueba se realiza dentro de la temporada cálida-húmeda de la región de Colima, Mx. que abarca los meses de Julio a Noviembre [14], con el fin de obtener los resultados en la temporalidad en que las variables climáticas afectan de manera directa al experimento y a los habitantes de la región.

### II.2. Variables

#### 1. Control

- Humedad relativa (espacio de trabajo).
- Salinidad de agua.
- Temperatura de bulbo seco del espacio de trabajo.

#### 2. Independientes

- Temperatura de bulbo seco.
- Temperatura de agua.
- Fibras que se seleccionaron para análisis.

Tabla 1: Fibras naturales seleccionadas para análisis

Caso	Material	Dimensión	Peso (Kg)
Caso base	Papel Kraft	30cm x 15cm	0.006
Caso 1	Algodón	30cm x 15cm	0.004
Caso 2	Piel de Palma de Coco	30cm x 15cm	0.002
Caso 3	Estropajo de Luffa	30cm x 15cm	0.008
Caso 4	Yute	30cm x 15cm	0.006

### 3. Dependientes

- Capacidad de capilaridad de agua de forma vertical.
- Capacidad de capilaridad de agua de forma horizontal.
- Enfriamiento de agua.
- Velocidad de evaporación de agua.

### II.3. Selección de casos

Los experimentos fueron hechos con fibras naturales de la región, que fueron seleccionadas debido a que son algunas que se encuentran con facilidad y que se pueden aprovechar como manera de reciclaje, ya que algunas se consideran desperdicio (Tabla 1). La selección de las fibras se realizó por la disponibilidad de éstas en la zona.

Las medidas seleccionadas para el experimento CCV son de 5cm x 30cm, para los experimentos CCH, CA y VE son de 30cm x 15cm. El peso y volumetría de cada fibra es una característica específica de cada fibra y se descarta como unidad de equivalencia para la prueba.

### II.4. Instrumentos

#### 1. Termo cámara FLIR I7

- Marca: FLIR systems.
- Ubicación: Punto central en el frente de la almohadilla de cada caso a una distancia de 50 CM. \*Entendiendo el frente como una de las caras con mayor superficie. Se utiliza en los experimentos CCV, CCH y VE.

#### 2. Báscula digital TORREY LPCR 20

- Marca: Torrey.
- Ubicación: Cualquier superficie plana, seca y estática que sea apropiada para la función que desempeña. Se utiliza en los experimentos CA y VE.

#### 3. Data logger HOBO U12-012

- Marca: ONSET.
- Ubicación: Punto central en el frente de la almohadilla de cada caso a una distancia de 50cm. \*Entendiendo el frente como una de las caras con mayor superficie. Se utiliza en todos los experimentos.

La metodología aclara el escenario en donde se realizarán los experimentos, empezando por la región, continuando por el área específica y concluyendo en el espacio de trabajo. Describe los 4 experimentos que se van a realizar sobre las fibras que se seleccionaron y los pasos que deben de seguir para ejecutarse de manera correcta.

### II.5. Escenario experimental

Los experimentos se realizaron en condiciones controladas en un espacio cerrado (lat. 19.210676, long. -109.803366, alt. 330 msnm). La temperatura interior se mantuvo en 27°C, se realizaron una serie de experimentos para identificar 1 fibra natural entre 4 que resulte ser la más eficiente para su uso en un sistema de enfriamiento evaporativo. Las pruebas consisten en:

#### 1. Experimento CCV. Encontrar la fibra con mayor capacidad de capilaridad vertical.

- Se colocan las fibras de manera vertical en una fila sobre una pileta con agua.
- Se sumergen las fibras al mismo tiempo durante 1:00 minuto y se captura la distancia que se eleva la mancha de agua de manera vertical sobre la fibra.
- Se obtienen los resultados mediante el uso de Termo cámara FLIR I7.

#### 2. Experimento CCH. Encontrar la fibra con mayor capacidad de capilaridad horizontal.

- Se colocan una fibra de manera horizontal sobre una superficie plana.
- Se añade la cantidad de 1 mililitro al centro de la fibra por medio de un gotero y se captura la distancia de la mancha de agua a partir del punto de caída de agua.
- Se obtienen los resultados cada 2:30 minutos mediante el uso de Termo cámara FLIR I7.

#### 3. Experimento CA. Encontrar la fibra con mayor capacidad de absorción del agua.

- Se pesa la fibra en su valor inicial (sin líquidos).
- Se sumerge la fibra a una pileta con agua y se elimina el exceso de líquidos (al punto de no gotear).

- Se pesa nuevamente la fibra en su valor final para conocer la cantidad de peso del líquido que soporta antes de gotear.
  - Se obtienen los resultados mediante el uso de báscula digital Torrey LPCR 20.
4. Experimento VE. Encontrar la fibra con mayor velocidad de evaporación.
- Se pesa la fibra en su valor inicial (sin líquidos).
  - Se sumerge la fibra a una pileta con agua y se elimina el exceso de líquidos (al punto de no gotear).
  - Se pesa la fibra humedecida para conocer el peso que se suba por el líquido.
  - Se dejan evaporar los líquidos de la fibra a temperatura ambiente para conocer la cantidad de agua que logra evaporar.
  - Se obtiene el registro térmico de la fibra cada 30 minutos mediante el uso de Termo cámara FLIR I7 y Data Logger HOBO U12-012.

Se obtienen los resultados cada 30 minutos mediante el uso de báscula digital Torrey LPCR 20.

### III. Resultados

#### III.1. Experimento CCV. Encontrar la fibra con mayor capacidad de capilaridad vertical

El experimento se realizó en un espacio cerrado con la temperatura de bulbo seco controlado con un sistema de refrigeración Mini Split, por lo cual se monitoreó con un Data Logger HOBO U-12 durante 01:53 horas, que arrojó un promedio de 28.15° Centígrados durante el día que se realizó el experimento.

También se llevó un monitoreo de la temperatura del agua con que se realizó el experimento, apoyado con un Data Logger HOBO U-12, que arrojó un promedio de 26.91° Centígrados durante el día que se realizó el experimento.

Para realizarse, las fibras se sujetaron a una base recta sostenida por un brazo que mantenía las fibras en la misma distancia hacia la superficie líquida, el orden en que se colocaron fue (de izquierda a derecha): Algodón, Papel Kraft, Estropajo de Luffa, Yute y Palma de coco (Fig. 1).

Se sumergieron en el mismo momento en la superficie líquida durante un lapso de 60 segundos en los cuales las fibras estuvieron constantemente en contacto directo con el agua. Concluidos los 60 segundos las fibras se retiraron y se obtuvieron los resultados (Figs. 2, 3).

#### III.2. Experimento CCH. Encontrar la fibra con mayor capacidad de capilaridad horizontal

El experimento se realizó en un espacio cerrado con la temperatura de bulbo seco controlada con un sistema

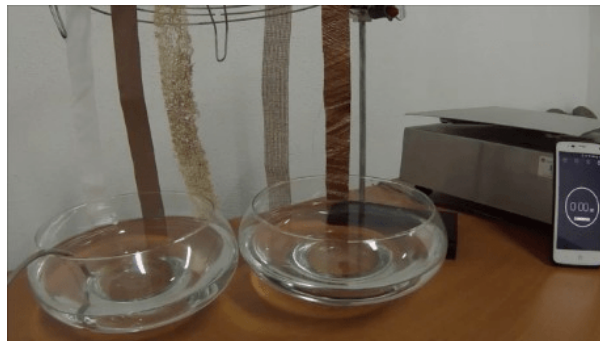


Figura 1: Las fibras preparadas para comenzar el experimento 1



Figura 2: Resultado de fibras del experimento 1

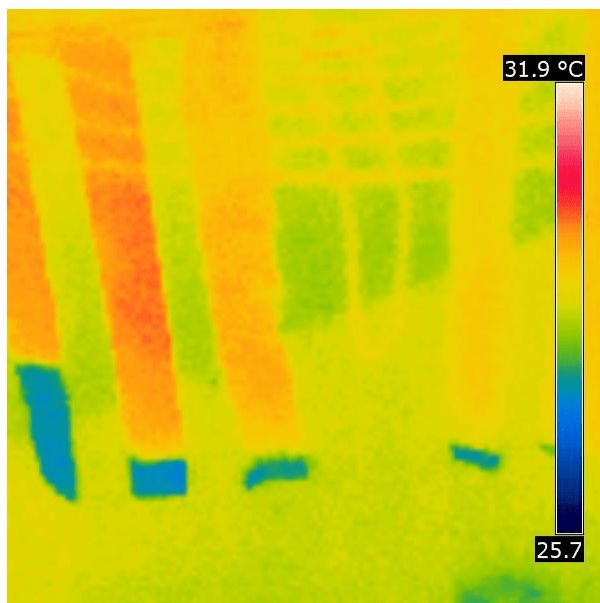


Figura 3: Resultado del experimento 1 en las fibras, tomado con termocámara FLIR I7



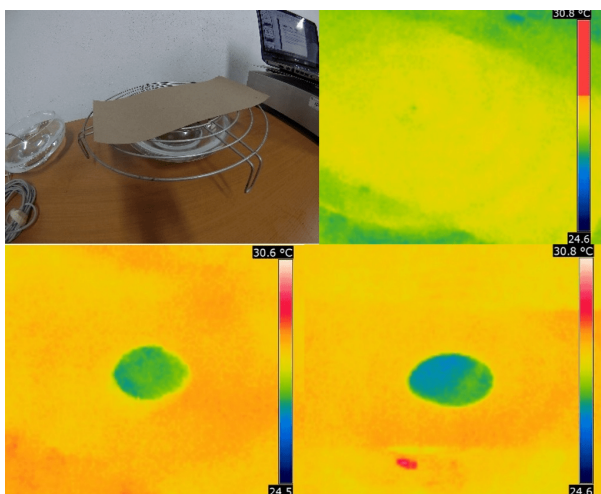


Figura 4: Prueba de capilaridad horizontal en Papel Kraft, inicio, a los 2:30 minutos y a los 5:00 minutos

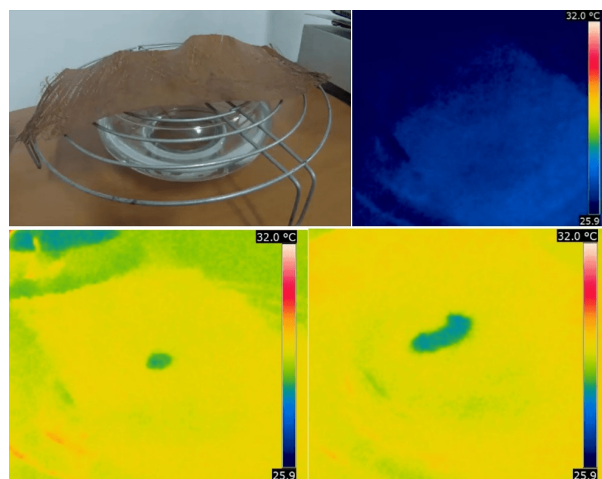


Figura 6: Prueba de capilaridad horizontal en Piel de Palma de Coco, inicio, a los 2:30 minutos y a los 5:00 minutos

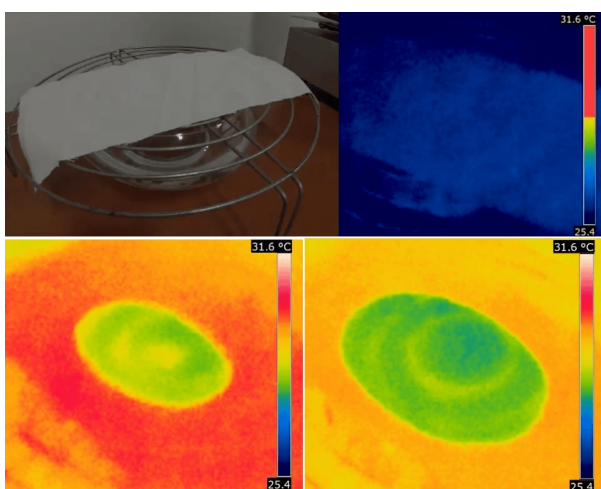


Figura 5: Prueba de capilaridad horizontal en Algodón, inicio, a los 2:30 minutos y a los 5:00 minutos

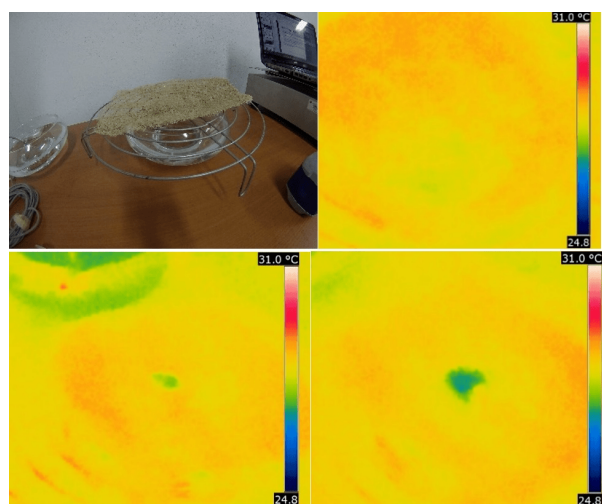


Figura 7: Prueba de capilaridad horizontal en Estropajo de Luffa, inicio, a los 2:30 minutos y a los 5:00 minutos

de refrigeración Mini Split, por lo cual se monitoreó con un Data Logger HOBO U-12 durante 01:53 horas, que arrojó un promedio de 28.15° Centígrados durante el día que se realizó el experimento.

De igual forma se monitoreó la temperatura del agua con que se realizó el experimento con un Data Logger HOB-O U-12, que arrojó un promedio de 26.91° Centígrados durante el día que se realizó el experimento.

Cada caso se realizó por separado de los otros, las fibras se colocaron sobre una parrilla, la cual tiene una superficie plana y que permite que si la fibra excede su capacidad de retención de líquidos de forma horizontal el agua que se agrega pueda traspasar por la fibra, evitando que ese exceso (no absorbido) aparezca en las capturas tras haber finalizado el experimento.

Para realizar el experimento se agregó por medio de un

goteo constante la cantidad de 1 ML de agua a cada una. Posteriormente se tomaron capturas con la Termo cámara FLIR I7 a los 02:30 minutos y a los 05:00 minutos para encontrar con mayor facilidad la mancha de humedad generada durante el experimento.

Los resultados muestran que la fibra que presenta mayor capacidad de absorción de líquidos de forma horizontal es el algodón, donde la mancha de humedad casi llega a alcanzar los extremos de la fibra, seguido por el papel Kraft, la palma de coco, el estropajo de Luffa y el yute. A excepción del algodón, las fibras llegaban a un punto en que dejaban de absorber el agua, comenzando a traspasarse, esto significa que en una prueba horizontal esas fibras no podrían soportar la cantidad de 1 ML de agua en forma de goteo sobre un punto.

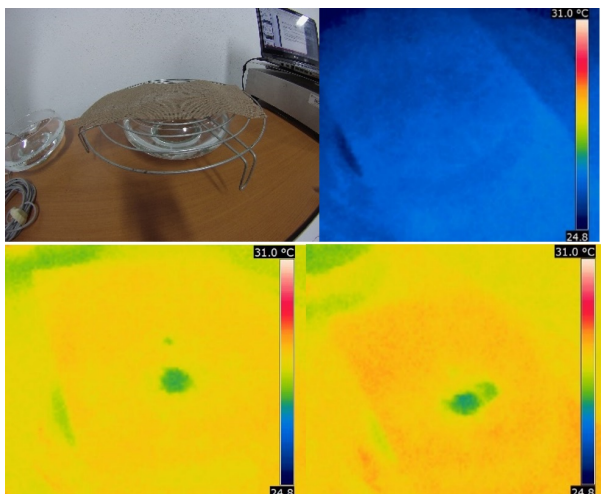


Figura 8: Prueba de capilaridad horizontal en Yute, inicio, a los 2:30 minutos y a los 5:00 minutos

Tabla 2: Comparación de peso de cada fibra al estar seca y humedecida

Fibra	Peso inicial (Kg)	Peso humedecido (Kg)
Papel Kraft	0.006	0.014
Algodón	0.004	0.016
Palma de coco	0.002	0.004
Estropajo de Luffa	0.008	0.016
Yute	0.006	0.016

### III.3. Experimento CA. Encontrar la fibra con mayor capacidad de absorción de agua

Las fibras pasaron por la báscula Torrey para registrar el peso que tiene antes de cada experimento, posteriormente cada fibra se introdujo a una pecera con agua donde la fibra se humedece en su totalidad, luego se le quita el exceso de agua dejándola escurrir hasta que termine de gotear por completo y vuelve a pasar por la báscula para conocer la capacidad máxima de agua que logró absorber, el registro de peso es en Kg.

El papel Kraft obtuvo una ganancia en peso de 0.008 Kg, el algodón obtuvo una ganancia en peso de 0.012 Kg, la palma de coco obtuvo una ganancia de peso de 0.002 Kg, el estropajo de Luffa obtuvo una ganancia de peso de 0.008 Kg Y el yute obtuvo una ganancia de peso de 0.010 Kg.

En la Tabla 2 se muestra la cantidad de peso inicial y humedecido que registraron cada una de las fibras.

Los resultados comprueban que la fibra que logra absorber mayor cantidad de agua es el algodón, teniendo una ganancia de 0.012 Kg, seguido por el yute con 0.010 Kg, el papel Kraft y el estropajo de Luffa con 0.008 Kg cada uno, y por último la palma de coco que absorbe

Tabla 3: Temperatura de bulbo seco y de agua para cada caso del experimento

Caso de estudio	Temperatura de bulbo seco promedio	Temperatura de agua promedio
Caso base. Papel Kraft	27.87°C	25.82°C
Caso 1. Algodón	27.24°C	25.81°C
Caso 2. Piel de Palma de Coco	28.17°C	26.04°C
Caso 3. Estropajo de Luffa	28.17°C	26.04°C
Caso 4. Yute	27.87°C	25.65°C

Tabla 4: Velocidad de evaporación de cada fibra sobre su capacidad máxima de absorción

Fibra	Cantidad absorción agua (Kg)	Tiempo en evaporación (min)	Velocidad en evaporación (Kg/min)
Papel Kraft	0.008	210	0.000038
Algodón	0.012	300	0.000040
Palma de coco	0.002	150	0.000013
Estropajo de Luffa	0.008	150	0.000053
Yute	0.010	240	0.000042

solamente 0.002 Kg.

### III.4. Experimento VE. Encontrar la fibra con mayor capacidad de evaporación de agua

Al haber humedecido las fibras a su máxima capacidad y haberles permitido que escurriera el agua excedente comienza la cuarta prueba, para ello se colocaron sobre la báscula Torrey, donde se dejan reposar para que evaporen el líquido con la temperatura controlada en el espacio de estudio, la prueba continua hasta que cada una de las fibras vuelva a registrar el peso inicial (visto en el experimento anterior). El registro de la evaporación de la fibra ocurre cada 30 minutos.

Cada prueba de este experimento se realizó en un espacio con la temperatura de bulbo seco controlado con un sistema de refrigeración Mini Split, por lo cual se monitoreó con un Data Logger HOBO U-12 durante el tiempo que fuera necesario para que se realizara con éxito. Estos datos se encuentran en la Tabla 3.

La velocidad de evaporación en cada fibra es analizada en la Tabla 4.

**Tabla 5:** Velocidad de evaporación de cada fibra en un caso hipotético para emparejar su capacidad de absorción de agua

Fibra	Cantidad absorción agua (Kg)	Tiempo en evaporación (min)	Relación de tiempo de evaporación (min) en un caso hipotético de cantidad de absorción (0.024 Kg)
Papel Kraft	0.008	210	630
Algodón	0.012	300	600
Palma de coco	0.002	150	1800
Estropajo de Luffa	0.008	150	450
Yute	0.010	240	576

**Tabla 6:** Velocidad de evaporación de cada fibra

Fibra	Velocidad en evaporación (Kg/min)
Papel Kraft	0.000038
Algodón	0.000040
Palma de coco	0.000013
Estropajo de Luffa	0.000053
Yute	0.000042

Para buscar una relación en el estudio de las fibras se propuso un caso hipotético en el cual todas las fibras llegaran a absorber la misma cantidad de líquido para conocer el tiempo que habrían tardado en evaporarlo debido a sus características. El peso del agua hipotética es de 0.024 Kg y se puede analizar en la Tabla 5.

La velocidad de evaporación de agua de cada fibra se puede ver en la Tabla 6.

Los resultados comprueban que la fibra que evapora el agua con mayor velocidad es el Estropajo de Luffa, seguido por el Yute, Algodón, Papel Kraft y la Palma de coco.

#### IV. Conclusiones

Con el estudio realizado de las fibras seleccionadas y en comparación con el papel Kraft se ha encontrado que la fibra que tiene un mejor desempeño en un sistema de enfriamiento evaporativo para una región de condiciones climáticas como las de Colima, Mx. es el Algodón. Resultó el más efectivo en los experimentos de mayor

capacidad de capilaridad vertical, mayor capacidad de capilaridad horizontal y mayor capacidad de absorción de agua, mientras que en la prueba de mayor velocidad de evaporación resultó el tercero con mayor velocidad.

El hecho de que la velocidad de evaporación no sea el mejor no significa que sea un punto negativo de la fibra, ya que la velocidad de evaporación puede no tener una relación directa con la velocidad de enfriamiento y de ganancia de calor de cada fibra. En su lugar sirve para definir la cantidad de cargas de agua que pueden requerir los sistemas de enfriamiento evaporativo en algún tiempo determinado para hacer más sencilla la función de éstos, por ejemplo, en un periodo de 10 hrs se tendría que cargar 4 veces la fibra de Estropajo de Luffa a su máxima capacidad debido a que su velocidad de evaporación es rápida, mientras que en el mismo periodo se cargaría 2 veces la fibra de Algodón a su máxima capacidad debido a que su velocidad de evaporación es intermedia.

Con el estudio de estas características se demuestra que existe una fibra vegetal que puede trabajar junto los sistemas de enfriamiento evaporativo y significar un cambio ante el uso del Papel Kraft como material convencional dentro del sistema, intentando aprovechar recursos naturales en busca de la sostenibilidad.

#### Referencias

- [1] María López De Asiain Alberich. *Estrategias Bio-climáticas en la Arquitectura*. Inf. téc. Diploma internacional “Acercamiento a Criterios Arquitectónicos Ambientales para Comunidades Aisladas en Áreas Naturales Protegidas de Chiapas”. 2003, pág. 40. URL: [http://ubonline.ags.up.mx/librosdigitales/ESTRATEGIAS\\_BIOCLIMATICAS\\_EN\\_ARQUITECTURA.pdf](http://ubonline.ags.up.mx/librosdigitales/ESTRATEGIAS_BIOCLIMATICAS_EN_ARQUITECTURA.pdf).
- [2] O Amer, R Boukhanouf y HG Ibrahim. «A review of evaporative cooling technologies». En: *International journal of environmental science and development* 6.2 (2015), pág. 111.
- [3] Zhiyin Duan y col. «Indirect evaporative cooling: Past, present and future potentials». En: *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16 (9 dic. de 2012), págs. 6823-6850. ISSN: 1364-0321. DOI: 10.1016/J.RSER.2012.07.007.
- [4] Alejandro Prieto y col. «Passive cooling & climate responsive façade design: Exploring the limits of passive cooling strategies to improve the performance of commercial buildings in warm climates». En: *Energy and Buildings* 175 (sep. de 2018), págs. 30-47. ISSN: 0378-7788. DOI: 10.1016/J.ENBUILD.2018.06.016.
- [5] Matheos Santamouris. «Passive Cooling of Buildings». En: (sep. de 2005), pág. 50.

- [6] Qun Chen y col. «A new approach to analysis and optimization of evaporative cooling system I: Theory». En: 35.6 (jun. de 2010), págs. 2448-2454. DOI: 10.1016/j.energy.2010.02.037. URL: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2010.02.037>.
- [7] Paolo Liberati y col. «Indirect Evaporative cooling systems: modelling and performance analysis». En: 140 (dic. de 2017), págs. 475-485. DOI: 10.1016/j.egypro.2017.11.159. URL: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.11.159>.
- [8] Bogdan Porumb, Mugur Bălan y Raluca Porumb. «Potential of Indirect Evaporative Cooling to Reduce the Energy Consumption in Fresh Air Conditioning Applications». En: 85 (ene. de 2016), págs. 433-441. DOI: 10.1016/j.egypro.2015.12.224. URL: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.12.224>.
- [9] Stefano De Antonellis y col. «Experimental analysis of a cross flow indirect evaporative cooling system». En: 121 (jun. de 2016), págs. 130-138. DOI: 10.1016/j.enbuild.2016.03.076. URL: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.03.076>.
- [10] Peng Xu y col. «Experimental investigation on performance of fabrics for indirect evaporative cooling applications». En: 110 (dic. de 2016), págs. 104-114. DOI: 10.1016/j.buildenv.2016.10.003. URL: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.10.003>.
- [11] Raj Mani Maurya, Dr. Nitin Shrivastava y Vipin Shrivastava. «Performance Evaluation of Alternative Evaporative Cooling Media». En: 2014.
- [12] J.K. Jain y D.A. Hindoliya. «Experimental performance of new evaporative cooling pad materials». En: 1.4 (dic. de 2011), págs. 252-256. DOI: 10.1016/j.scs.2011.07.005. URL: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2011.07.005>.
- [13] X. Zhao, Shuli Liu y S.B. Riffat. «Comparative study of heat and mass exchanging materials for indirect evaporative cooling systems». En: 43.11 (nov. de 2008), págs. 1902-1911. DOI: 10.1016/j.buildenv.2007.11.009. URL: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2007.11.009>.
- [14] Servicio Meteorológico Nacional. «SMN2021». En: (2021). URL: <https://smn.conagua.gob.mx/es/informacion-climatologica-por-estado?estado=col>.