

Película de polímero a partir de nanocristales de celulosa de residuos de maíz para un proceso de enfriamiento radiativo

Polymer film from corn waste cellulose nanocrystals for a radiative cooling process

Kamila P. Márquez-M.

Universidad Rafael Urdaneta, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Química. Maracaibo, Venezuela.

 <https://orcid.org/0009-0006-6208-5195> /Correo electrónico: kamilapmarquez@gmail.com

Recibido:12-07-2024 Admitido:21-07-2024 Aprobado:01-08-2024

Resumen

El enfriamiento radiativo es un sistema de enfriamiento pasivo para reducir la temperatura mediante la emisión de radiación infrarroja en el rango de la ventana atmosférica de 8-13 μm . En este proyecto se analiza la posibilidad de utilizar nanocristales de celulosa extraídos de residuos de maíz como material de enfriamiento radiativo. Los resultados observados en otros trabajos demostraron que la aplicación de este sistema en una ciudad húmeda y cálida como Maracaibo puede ofrecer una reducción de la temperatura durante casi todas las horas del día y, a su vez, reducir la demanda de energía para la refrigeración.

Palabras clave: nanocristales, celulosa, enfriamiento radiativo.

Abstract

Radiative cooling is a passive cooling system to reduce temperature by emitting infrared radiation in the range of the atmospheric window of 8-13 μm . This project analyzes the possibility of using cellulose nanocrystals extracted from corn waste as a radiative cooling material. The results observed in other research's demonstrated that the application of this system in a humid and hot city like Maracaibo can offer a reduction in temperature during almost all hours of the day and, in turn, reduce the energy demand for cooling.

Keywords: nanocrystals, cellulose, radiative cooling.

Planteamiento del problema

González y Givoni [1] declaran que en Maracaibo se experimenta un clima cálido y húmedo con temperaturas anuales promedio de 32 °C a 34 °C, donde el máximo promedio de humedad relativa siempre es sobre el 90 %. De la misma forma, González y Givoni explican que una gran fracción de la energía eléctrica consumida en regiones tropicales-húmedas es dedicada a la operación de aires acondicionados. En consecuencia, en ciudades como Maracaibo la demanda de sistemas de refrigeración representa casi un 80 % del uso de la energía en el sector residencial según las estadísticas de ENELVEN C.A. (Actualmente CORPOELEC) [2].

Por otra parte, la dependencia de la energía para proveer comodidad en cuanto al enfriamiento de interiores ha resultado en altos niveles de consumo de combustible fósil no renovable, lo cual acarrea el impacto ambiental a escala global y mundial. En vista de lo anterior, se han realizado continuas investigaciones para encontrar soluciones eficientes para la aceleración del calentamiento global y emisiones de gases invernaderos; sin embargo, no se han tomado las acciones necesarias para resolver este problema ambiental [3].

Dong y Wu [4] afirman que una de las mejores maneras para disipar el calor sin consumir electricidad es el enfriamiento radiante pasivo, ya que el calor excesivo es enviado hacia el espacio exterior sin energía externa. En las últimas décadas, se ha investigado el uso de películas y diferentes tipos de polímeros para el enfriamiento durante el transcurso del día y la noche. La celulosa, es un material innovador para el enfriamiento radiativo y es uno de los polímeros que más abunda en la naturaleza, el cual puede ser obtenido de materias primas agrícolas y forestales, como fibra de maíz, subproductos del trigo, residuos de industria alimentaria, lodos de papeleras, residuos forestales y otros. [5]

Según Barrios y Bolotin [6, Pag.41], la producción de “maíz en Venezuela es el rubro más importante desde el punto de vista agroalimentario”, ya que forma parte de la dieta diaria del país. La Sociedad Venezolana de Ingenieros Agrónomos y Afines (SVIAA), afirma que la producción de maíz en Venezuela creció un 35%, al pasar de 1.000 toneladas a 1.350, donde el 65% corresponde a maíz blanco y el 35% restante al amarillo. Sin embargo, esta práctica conduce a un gran volumen de residuos [7], dado que la planta de maíz se establece del tallo, hoja, mazorca y cáscara, donde solo la mazorca es la parte comestible y el resto es considerado desecho agrícola. Mundialmente se producen 640 millones de toneladas de maíz, en la que 45 millones de toneladas corresponden a la cáscara de maíz [8].

En tal sentido, se plantea la siguiente interrogante: ¿Es posible integrar la celulosa obtenida de residuos de maíz a una película de polímero en un proceso de enfriamiento radiativo para disminuir el consumo de electricidad en la ciudad de Maracaibo?

Justificación de la investigación

Con la presente investigación se pretende determinar la posibilidad de desarrollar un sistema de enfriamiento efectivo que sirva como estrategia de reducción del uso de energía, aprovechando la celulosa de los residuos agropecuarios de la región.

Los sistemas tradicionales de enfriamiento no solo requieren un gran consumo de energía, sino que también liberan gases de efecto invernadero a la atmósfera. Como consecuencia, el uso generalizado de este tipo de sistemas ha resultado en amplios problemas ambientales, como el calentamiento global. Además, la crisis energética ha convertido en una prioridad encontrar sistemas de enfriamiento que sean de alta eficiencia y amigables con el ambiente.

Las películas de enfriamiento a base de polímeros se han vuelto una opción atractiva para los problemas anteriormente mencionados, debido a su excelente habilidad de emisión infrarroja, fácil fabricación, reducción del consumo eléctrico y bajo costo. Por tal motivo, existe un gran potencial en su aplicación para edificios, celdas solares, generación de energía y otras áreas.

Del mismo modo, los desechos agrícolas generalmente son una gran fuente de contaminación, por lo que actualmente se buscan alternativas de su uso. Una opción es utilizar los residuos como materia prima para la obtención de celulosa, ya que dichos materiales están constituidos por fibras ligno celulósicas, con lo cual se les proporcionaría un valor agregado a dichos residuos. Además, esta sería una solución para la acumulación de desechos sólidos que se generan por la actividad agrícola.

Por lo tanto, se pretende proponer un sistema de enfriamiento efectivo y con poco impacto ambiental, de tal forma que se obtenga una disminución de los desechos agrícolas y el consumo energético, y por ende, conseguir un descenso en la temperatura de la ciudad.

Objetivos de la investigación

Objetivo general

Desarrollar una película de polímero a partir de nanocristales de celulosa con residuos de maíz para el enfriamiento radiativo.

Objetivos específicos

Obtener el nanocristal de celulosa a partir de la cáscara de maíz.

Desarrollar una película flexible a partir del nanocristal de celulosa.

Analizar el rendimiento de la película de celulosa de enfriamiento.

Metodología

Fase I: Obtención del nanocristal de celulosa a partir de la cáscara de maíz

Para realizar esta fase se utilizará materia prima nacional y se seguirá el método de extracción de nanocristales de celulosa sugerido por Smyth et al. [9]. Primeramente, se realiza el blanqueo de cáscaras de maíz para preparar las muestras, en donde se siguen los siguientes pasos:

La cáscara de maíz seca y molida se coloca en una solución de NaOH al 2%, durante toda la noche en condiciones ambientales para eliminar las hemicelulosas y las cenizas. Luego, las partículas se eliminan por filtración y se lavan con agua desionizada hasta obtener un pH igual a 7. Después, la fibra lavada se coloca en un matraz de tres cuellos, y por cada 10 g de masa seca de fibra se agregan 110 mL de H₂O desionizada, 110 mL de buffer de ácido acético y 110 mL de solución de NaClO₂ al 1,7%. Seguidamente, la suspensión se calienta a 80 °C durante 2 horas con agitación continua. Por último, la pulpa se filtra y se lava con agua desionizada hasta conseguir un pH neutro.

Las fibras de cáscara de maíz blanqueadas se suspenden en 34,4 mL de agua desionizada y se añaden gota a gota a la suspensión 72,1 g de ácido sulfúrico concentrado por cada 10 g de masa de fibra seca. Una vez añadido el ácido sulfúrico, la suspensión se calienta a 45 °C y se agita durante 45 minutos. Luego, la hidrólisis es suspendida con la adición de agua desionizada. Seguidamente, la suspensión se centrifuga y se filtra a través de una malla de nylon de 1 µm.

Fase II: Desarrollo de una película flexible a partir del nanocristal de celulosa

Después de obtener el nanocristal de celulosa, diferentes porcentajes de pesos (1% CMC, 2% CNC, 10% CMC, 20% CMC y 30% CMC) se colocan en una placa de Petri y se añaden 2 mL de polidimetilsiloxano (PDMS) con su agente de curado; seguidamente la mezcla se agita enérgicamente. Luego, la muestra se calienta a 60 °C durante 10 minutos y se desgasifica en una cámara de vacío durante 15 min para eliminar la burbuja de aire de la película. Finalmente, la muestra se seca a 90 °C durante 30 minutos para obtener una película sólida y flexible. La muestra debe tener un espesor aproximado de 1,45 mm.

Fase III: Evaluación del rendimiento de la película de enfriamiento

En primer lugar, se determina la reflectancia hemisférica espectral (R), utilizando un equipo de Espectrofotometría de transformada de Fourier (FTIR). Luego, la medición de la absorción (A) de las muestras se calcula usando la Ecuación 1 donde la absorción es igual a la absorbancia y emisividad de la muestra.

$$A = 1 - R \quad (\text{Ec. 1})$$

Después, se evalúa el rendimiento experimental del enfriamiento utilizando la muestra con mejor resultado de emisividad. El montaje del equipo sugerido (Figura 1) consiste en poner la muestra dentro de una caja termal, la misma se cubre de papel aluminio, luego se coloca encima de una espuma foam, y la cara superior de la caja se cubre con una película de polietileno (PE) de 50 µm de espesor. Para medir la temperatura de la muestra y de los alrededores se emplean dos termocuplas.

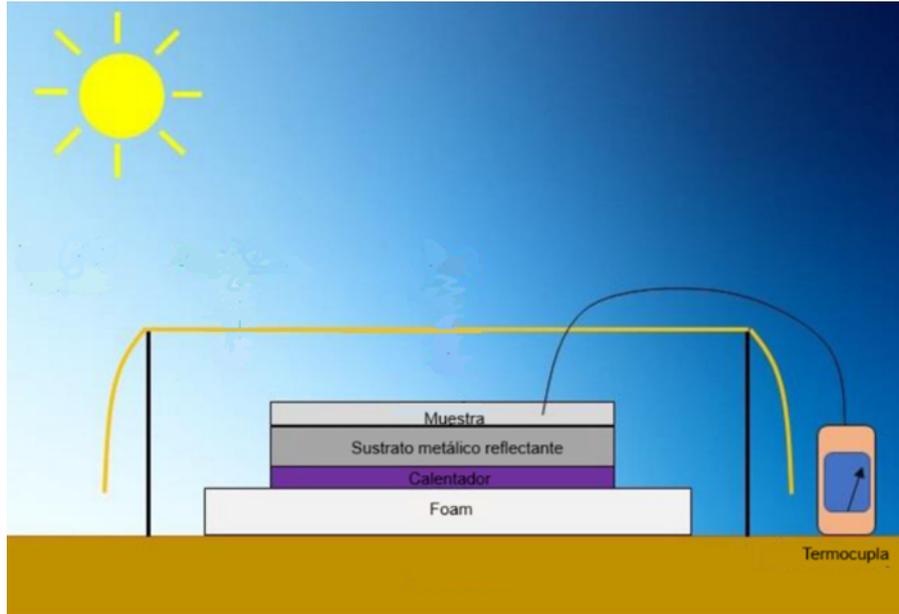


Figura 1. Esquema para el rendimiento experimental [3].

En la Figura 2 se presenta un diagrama que contempla las fases de desarrollo de la propuesta de investigación.

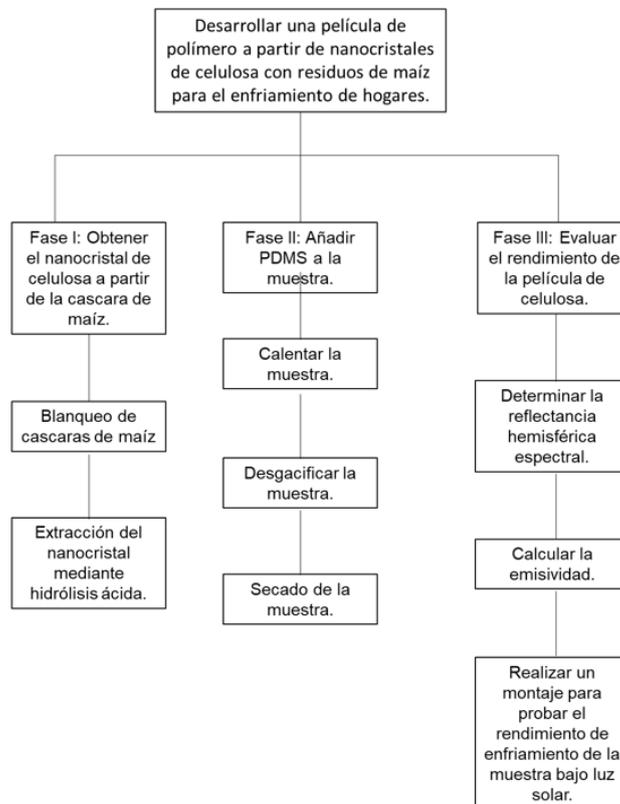


Figura 2. Diagrama demostrativo del cumplimiento de los objetivos a través de las fases.

Resultados esperados

Con respecto a la efectividad de la adición de CNC en la matriz de PDMS para desarrollar la película de polímero, se muestra en la Figura 3 que se obtiene una mejora significativa en la absorción general del material, ya que se observan picos de absorción más intensos para las muestras en comparación con la muestra de PDMS puro. El pico más alto corresponde a la muestra con 30% de CNC.

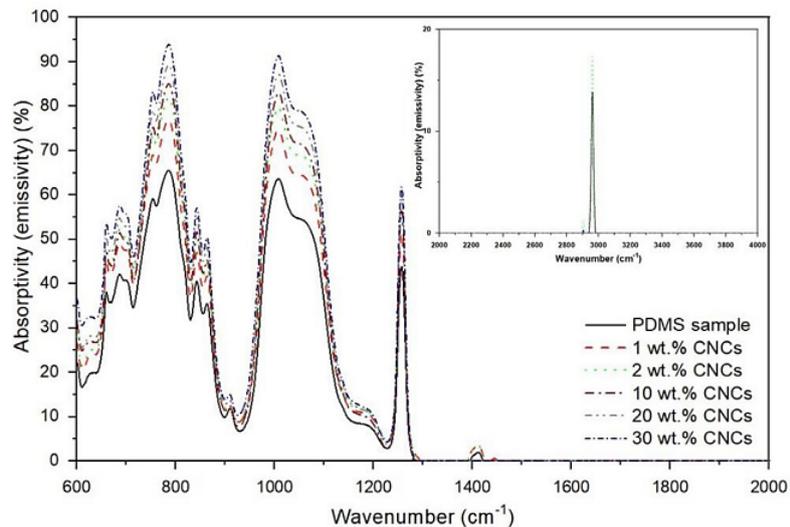


Figura 3. Emisividad del PDMS puro, muestras de 1% CMC, 2%, CNC, 10% CMC, 20% CMC y 30% CMC [3].

Por lo anterior, se aspira que la película mejorada con la celulosa logre una reducción significativa de la temperatura dentro de la habitación cuando se expone a la luz solar directa, de manera que no sería necesario encender un sistema de aire acondicionado. Estudios realizados previamente (Figura 4) demuestran que, al aplicar una película polimérica bajo luz solar en una placa de prueba, da como resultado una diferencia máxima de temperatura alcanzada en estudios anteriores que fue de 3,97°C con respecto a la temperatura ambiente. Sin embargo, se observa una disminución a las 13:00 de -0.45 °C, lo cual sugiere que una radiación solar significativa puede afectar el rendimiento del poder de enfriamiento.

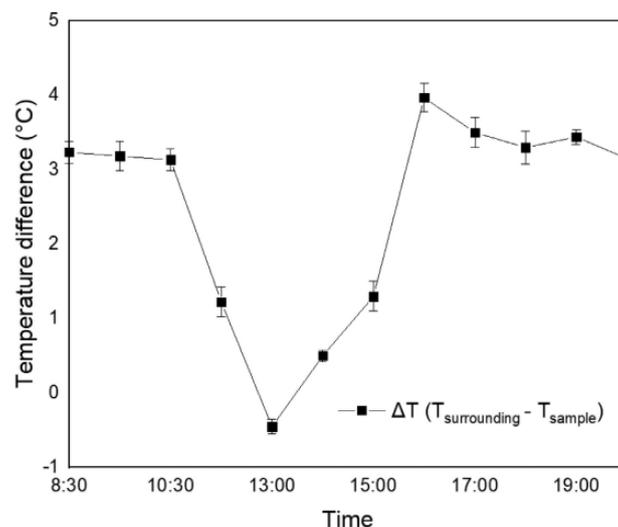


Figura 4. Medición del enfriamiento radiativo de la muestra puesta debajo de luz solar[3].

Debido a la facilidad de aplicación y resultados favorables, se deduce que esta tecnología puede ser factible en los hogares y establecimientos de Maracaibo, ofreciendo una solución eficiente para la disminución del consumo eléctrico y la necesidad de sistemas de enfriamiento convencionales. La aplicación de las películas poliméricas resulta una alternativa para el acondicionamiento térmico en climas cálidos, proporcionando confort durante casi todas las horas del día. Además, el uso de la cáscara de maíz como materia prima en esta propuesta contribuye a la disminución de residuos sólidos, que es una de las principales fuentes de emisiones de gases de efecto invernadero. Sin embargo, se deben realizar investigaciones experimentales para comprobar lo anterior.

Referencias bibliográficas

- [1] E. González-Cruz, y B. Givoni, “Radiative and Radiative/Evaporative Passive Cooling Systems for a Hot Humid Climate – Maracaibo”, en *Plea2004 - The 21th Conference on Passive and Low Energy Architecture. Eindhoven, The Netherlands*, 19–22. 2004. [En Línea]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.1.2011.2083>
- [2] E. González-Cruz, y B. Givoni, “Testing and Modeling an Evaporative Passive Cooling System in a Hot Humid Climate – Maracaibo”, *ResearchGate*, 2005. [En Línea]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.1.1486.9207>
- [3] F. Chowdhury, Q. Xu, K. Sinha, y Z. Wang, “Cellulose-upgraded polymer films for radiative sky cooling”, *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, vol. 272, 2021. [En Línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jqsrt.2021.107824>
- [4] K. Dong, y J. Wu, “Radiative cooling, what’s next?”, *Next Energy*, vol. 1, issue 1, 100003, 2023. [En Línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.nxener.2023.100003>
- [5] Y. Xie, G. Shishuai, D. Zhang, C. Wang, y F. Chu, “Bio-based Polymeric Materials Synthesized from Renewable Resources: A Mini-Review”, *Resources Chemicals and Materials*. vol. 2, issue 3, pp. 223-230, 2023. [En Línea]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.recm.2023.05.001>
- [6] S. M. Barrios y R. E. Bolotín, “Análisis de la producción de maíz (*Zea mays L.*) en Venezuela entre 1999-2010”, *Revista de la Facultad de Agronomía*, vol. 72, pp. 41-55, 2018. [En Línea]. Disponible en: http://saber.ucv.ve/ojs/index.php/rev_agro/article/view/15189
- [7] “Sviaa: Producción de maíz creció 35 % en 2023”, *Primicia*, 2024. [En Línea]. Disponible en: <https://primicia.com.ve/economia/sviaa-produccion-de-maiz-crecio-35-en-2023/>
- [8] L. O. Pordesimo, B. Hames, S. Sokhansanj, y W.C. Edens, “Variation in corn stover composition and energy content with crop maturity”. *Biomass and Bioenergy*. vol. 28, issue. 4, pp. 366-374. (2005). [En Línea]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biombioe.2004.09.003>
- [9] M. Smyth, A. Garcia, C. Rader, E. Foster, y J. Bras, “Extraction and process analysis of high aspect ratio cellulose nanocrystals from corn (*Zea mays*) agricultural residue”, *Industrial Crops and Products*, vol. 108, pp. 257-266, 2017. [En Línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.06.006>