

## DESARROLLO DE PELÍCULAS BIONANOESTRUCTURADAS PARA EMPAQUES DE ALIMENTOS

C. Castro <sup>(1)</sup>, C. Alvarez <sup>(2,3)</sup>, C. Córdoba <sup>(2)</sup>, D. Gallego <sup>(2)</sup>, D. Restrepo <sup>(1)</sup>, L. Rodríguez <sup>(1)</sup>, S. Echeverri <sup>(1)</sup>, L. Vélez <sup>(3)</sup>, R. Zuluaga <sup>(2,3)</sup>, P. Gañán <sup>(1)</sup>

(1) Escuela de Ingenierías, Facultad de Ingeniería Química, Grupo de Investigación sobre Nuevos Materiales, Universidad Pontificia Bolivariana, COLOMBIA.

(2) Escuela de Ingenierías, Facultad de Ingeniería Agroindustrial, Grupo de Investigación sobre Nuevos Materiales, Universidad Pontificia Bolivariana, COLOMBIA.

(3) Escuela de Ingenierías, Facultad de Ingeniería Agroindustrial, Grupo de Investigaciones Agroindustriales, Universidad Pontificia Bolivariana, COLOMBIA.

e-mail: cristina.castro@correo.upb.edu.co

piedad.ganan@correo.upb.edu.co

### RESUMEN

*Membranas de celulosa bacterial fueron producidas en forma tubular a partir de desechos de la agroindustria. Propiedades morfológicas, mecánicas y térmicas, además de análisis bromatológicos fueron evaluadas. De acuerdo a los resultados obtenidos donde se observan buenas propiedades mecánicas y estabilidad térmica, este tipo de membranas pueden ser utilizados como films edibles para embutidos cárnicos con una baja contribución de calorías y un aporte de fibra dietaria.*

**Tópico:** Tópico 3: Materiales Poliméricos

**Palabras clave:** Celulosa bacterial, Material de empaque, Bionanoestructuras, Desechos agroindustriales.

### 1. INTRODUCCIÓN

La celulosa es el polímero natural más abundante sobre la tierra, químicamente es una cadena lineal formada de unidades de celobiosa unidas por enlaces  $\beta$ -(1,4)-glucosídicos [1]. Esta molécula es sintetizada principalmente por plantas, no obstante también es producida por animales como la tunicia y bacterias como el *acetobacter xylinum* [2].

La celulosa de origen bacterial es metabolizada por este microorganismo como medio de sostén, debido a que las bacterias requieren mantenerse en la superficie del cultivo para tomar el oxígeno del aire. Unidades de glucosa son polimerizadas en la membrana celular y posteriormente extruidas. Cadenas adyacentes son estabilizadas entre sí por medio de puentes de hidrógeno, generando una subfibrilla, las cuales a su vez son ensambladas para formar microfibrillas entre 20 y 100 nm de diámetro y varias micras de longitud, dando origen a una red nanoestructurada con excelentes propiedades mecánicas, conformabilidad, biodegradabilidad, biocompatibilidad y cristalinidad [3-5]. Estas características, sumado a que esta molécula tiene la propiedad de servir como fibra dietaria insoluble, la hacen atractiva para el desarrollo de empaques edibles en la industria alimentaria [6].

En la actualidad, la producción de celulosa bacteriana es limitada por su alto costo, debido principalmente a que para su crecimiento se emplean medios de cultivo preparados a partir de azúcares comerciales como glucosa, sacarosa, fructuosa y manitol, entre otros [7, 8]. Sin embargo, es posible disponer de otros recursos tales como residuos de la agroindustria ricos en carbohidratos, nitrógeno y vitaminas que podrían ser usadas por este microorganismo en su producción. Bajo este contexto, se logró producir films partir de celulosa bacterial utilizando desechos de la agroindustria colombiana, como la cáscara de la piña.

Los tubos de celulosa bacterial obtenidos fueron evaluados para su utilización en la industria de embutidos cárnicos mediante la determinación del contenido dietario, propiedades como resistencia mecánica, permeabilidad al vapor de agua, estabilidad térmica, absorción de humedad.

## 2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

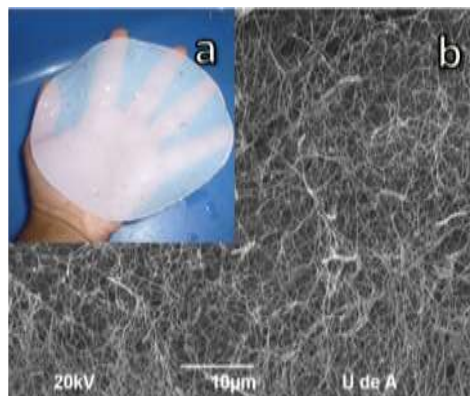
La cepa de *Gluconacetobacter* utilizada para la producción de los tubos fue previamente aislada de vinagre casero. El microorganismo fue inoculado en un medio de cultivo rico en fuente de carbono y nitrógeno preparado a partir de cáscaras de piña y acidificado con ácido cítrico, en un molde tubular.

Luego de 8 días de incubación, la membrana formada fue retirada y lavada con 5 % KOH para eliminar residuos del microorganismo y del medio de cultivo, seguido de sucesivos lavados con agua destilada hasta alcanzar un pH de 7,0. Los films obtenidos fueron secados a 50°C.

Las películas tubulares de celulosa fueron caracterizadas por ensayos de absorción de humedad, microscopía electrónica de barrido (SEM) con un microscopio Jeol JSM 5910 LV operado a 20 kV, análisis termogravimétrico en TGA-SDTA 851e Mettler Toledo con atmósfera de nitrógeno entre 30 y 800°C, pruebas de tracción en una máquina Universal de ensayos Instron 5582 con una celda de carga de 1kN y a una velocidad de 5 mm/min. Estas pruebas se realizaron con el fin de evaluar su morfología, determinar el rango de temperatura en que se produce la degradación del material y las propiedades mecánicas respectivamente.

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Figura 1a presenta una imagen de la película formada en la superficie del vinagre casero. La micrografía de SEM en la Figura 1b revela la forma bacilar de las células gram negativas del género *Gluconacetobacter*. Haces de microfibrillas de celulosa de entre 20-70 nm de ancho y varias micras de longitud fueron observados sujetos a la superficie de la célula, formando una red tridimensional estructurada. Esta red es producida por el microorganismo para mantener las condiciones de humedad del medio y como mecanismo de sostenimiento en la superficie del cultivo para así poder tomar el oxígeno disponible en el aire.



**Figura 1.** Film de celulosa bacterial obtenido desde la interfase del medio de cultivo (a), SEM imagen de la nanoestructura producida por *acetobacter xylinum* a partir de desechos agroindustriales (b)

La moldeabilidad de la celulosa bacterial desde el medio de cultivo fue evaluada, en la Figura 2 se presenta un tubo generado durante la biosíntesis. Medidas de diámetros y espesores fueron constantes a lo largo de toda su extensión, lo que garantiza que este efecto no alterará la determinación de otras propiedades que dependan de la homogeneidad del material.

En la Tabla 1 se presentan los resultados del análisis bromatológico de la membrana tubular obtenida. Como ha sido reportado por otros autores, la celulosa es considerada en su mayoría fibra dietaria, lo cual se corrobora en el porcentaje de carbohidratos obtenido. Adicionalmente, se observa que la muestra presenta bajas calorías lo que la hace interesante para su aplicación como films edibles para material de empaque de alimentos.



**Figura 2.** Film tubular de celulosa bacteriana producido a partir de residuos de la cáscara de piña.

**Tabla 1.** Análisis bromatológico de la membrana de celulosa bacteriana.

| Humedad (%) | Cenizas (%) | Proteína (%) | Grasa (%) | Carbohidratos (%) | Calorías kcal/g |
|-------------|-------------|--------------|-----------|-------------------|-----------------|
| 6,00        | 3,80        | 0,76         | 0,00      | 95,38             | 3,8             |

Entre las propiedades de mayor importancia en los empaques para alimentos, se encuentran las mecánicas y las de barrera. En esta última, la permeabilidad al vapor de agua [9] y la capacidad de retención de humedad son de gran importancia, debido a que pueden conducir al hinchamiento del empaque y generar un funcionamiento deficiente [10].

La membrana de celulosa bacteriana, después del proceso de lavado, retiene un 98% de humedad. Esta característica está relacionada con el carácter hidrofílico de esta molécula, y con la presencia de una estructura porosa y de túneles al interior de la película, como se observó en la Figura 1b [11]. Cuando la fibra es secada, los valores de absorción disminuyen drásticamente [5], lo que es observable en los datos de la Tabla 1. Luego que la película de celulosa fue expuesta a 25 °C y 60 % HR durante 15 días, la absorción fue de tan solo un 6%. Esto se explica por la formación de puentes de hidrógeno entre los haces de microfibrillas luego del proceso de secado, lo que reduce la cantidad de -OH y de poros disponibles para el alojamiento de las moléculas de agua [12]. Esta característica, a pesar de ser un inconveniente en muchos de los materiales para empaques utilizados, favorece los procesos de desecado, los cuales son deseables en el desarrollo de embutidos procesados.

En cuanto a las propiedades mecánicas de la membrana tubular (ver Tabla 2), los valores del módulo y el esfuerzo máximo fueron similares a los reportados por otros autores [1]. Comparado con fundas edibles de colágeno, el esfuerzo máximo del tubo de celulosa es mayor. Además, resultados de análisis termogravimétrico presentados en la Figura 3, muestran un rango de temperatura de degradación entre 250-380 °C. Estas características permitirían que este material pueda ser utilizado como empaque para embutidos cárnicos, los cuales debido a las temperaturas de degradación térmica presentadas, pueden ser sometidos a procesos de cocción y fritura.

**Tabla 2.** Propiedades mecánicas obtenidas para el film de celulosa producido desde el medio de cultivo.

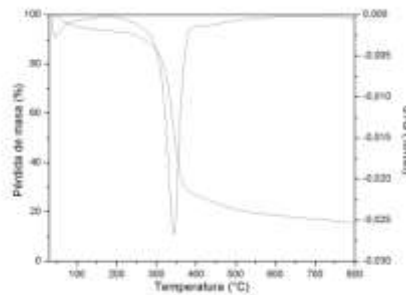
---

|                              |                              |
|------------------------------|------------------------------|
| <b>Módulo de Young (GPa)</b> | <b>Esfuerzo Máximo (MPa)</b> |
|------------------------------|------------------------------|

---

7,99

141,4



**Figura 3.** Termográmico de celulosa bacteriana obtenida a partir de residuos de la cáscara de piña.

#### 4. CONCLUSIONES

Membranas de celulosa bacteriana fueron producidas en forma tubular a partir de desechos de la agroindustria. De acuerdo a la caracterización realizada, las películas obtenidas presentaron buenas propiedades mecánicas y estabilidad térmica, factores que favorecen su aplicación en la industria de embutidos cárnicos. No obstante, debido a la capacidad de absorción de humedad que presentan las membranas obtenidas, se hace necesario evaluar cual es el embutido más adecuado para este tipo de fundas. Adicionalmente, debido al bajo contenido de calorías y que la celulosa puede contribuir como fibra dietaria, estos materiales pueden aportar un valor adicional al producto final, catalogándolo como un alimento funcional.

#### REFERENCIAS

1. S. Bielecki, A. Krystynowicz, M. Turkiewicz, H. Kalinowska, "Bacterial cellulose"; 2005 In: Alexander Steinbüchel and Yoshiharu Doi (Ed.), *Biotechnology of polymer: From Synthesis to Patents*, Wiley-VCH, Weinheim, Germany, Chapter 14, p. 381-434.
2. A.J. Brown, "On an acetic ferment which forms cellulose". *Journal of the Chemical Society*, Vol. 49 (1886), p.432-439.
3. M. Iguchi, S. Yamanaka, A. Budhiono, "Review: Bacterial cellulose - a masterpiece of nature's arts". *Journal of Materials Science*, Vol 35 (2000), p.261-270.
4. R.M. Brown, I.M.Jr. Saxena, "Cellulose biosynthesis: A model for understanding the assembly of biopolymers". *Plant Physiology and Biochemistry*, Vol 38 (2000), p.57-67.
5. D. Klemm, D. Shumann, U. Udhardt, S. Marsch, "Bacterial synthesized cellulose – artificial blood vessels for microsurgery". *Progress in Polymer Science*, Vol 26 (2001), p. 1561-1603.
6. A. Okiyama, M. Motoki, S. Yamanaka, "Bacterial cellulose II. Processing of the gelatinous cellulose for food materials". *Food Hydrocolloids*, Vol 6 (1992), p. 479-487.
7. E.J. Vandamme, S. De Baets, A. Vanbaelen, K. Joris, P. De Wulf, "Improved production of bacterial cellulose and its application potential". *Polymer Degradation and Stability*, Vol 59 (1998), p. 93-99.
8. A. Kurosumi, C. Sasaki, Y. Yamashita, Y. Nakamura, "Utilization of various fruit juices as carbon source for production of bacterial cellulose by *Acetobacter xylinum* NBRC 13693". *Carbohydrate Polymers*, Vol 76 (2009), p. 333-335.
9. J. Quintana, F. Cornejo, A. Rigail-Cedeño. "Análisis y diseño de empaques flexibles para alimentos". *Revista Tecnológica ESPOL*, Vol 20 (2007), p. 11-18.
10. V. Trejo, N. Aragón, P. Miranda. "Estimación de la permeabilidad al vapor de agua en películas a base de quitosán". *Revista de la Sociedad Química de México*. Vol 45 (2001), p. 1-5.

11. D. White, R. Brown. "Prospects for the commercialization of the biosynthesis of microbial cellulose"; 1989  
In: Schuerch C, editor. Cellulose and Wood – Chemistry and Technology. New York, Wiley.
12. C. Classen, B. Sultadova, T. Wilhelms, P. Heisig, W.-M. Kulicke. "Effects of different drying process on the material properties of bacterial cellulose membranes". Macromolecular Symposia. Vol 244 (2006), p. 48-58.