



**IV Simposio
DE MATERIALES
POLIMÉRICOS**



Res. No. 18743, 2017-2021.



Vigilada MinEduación.

Ingeniería de Polímeros, Procesamientos y Reología

Revista Informador Técnico, Volumen 82 n2 - Suplemento I- 2018

IV Simposio de Materiales Poliméricos - 13 y 14 de Septiembre de 2018, Cali - Colombia

CONTENIDO

CITLAX: Una estrategia que beneficiará el sector textil automotriz	48
Carolina Caicedo, Carlos A. Ávila Orta, Rolando Luna García, Leticia Melo López, Cristian J. Cabello, Heidi A. Fonseca	
Fabricación y análisis mecánico de membranas elaboradas en base a PLA, reforzadas con CNF de chusquea Quila por la técnica de electrospinning.....	52
Alexander Gaitán, William Gacitúa	

CITLAX: Una estrategia que beneficiará el sector textil automotriz

CITLAX: A strategy that will benefit the automotive textile sector

Modalidad: Artículo de difusión

Carolina Caicedo¹
Carlos A. Ávila Orta²
Rolando Luna García^{3*}
Leticia Melo López⁴
Cristian J. Cabello⁵
Heidi A. Fonseca⁶

¹ Cátedras Conacyt - Consorcio de Investigación y de Innovación del Estado de Tlaxcala. Tlaxcala de Xicohténcatl, Tlaxcala, México C.P. 90000.

² Centro de Investigación en Química Aplicada, Departamento de Materiales Avanzados. Saltillo, Coahuila, México C.P. 25294. Consorcio de Investigación y de Innovación del Estado de Tlaxcala. Tlaxcala de Xicohténcatl, Tlaxcala, México C.P. 90000

³ Consorcio de Investigación y de Innovación del Estado de Tlaxcala. Tlaxcala de Xicohténcatl, Tlaxcala, México C.P. 90000 *E-mail: gerente.citlax@ciqa.edu.mx

⁴ Cátedras Conacyt - Consorcio de Investigación y de Innovación del Estado de Tlaxcala. Tlaxcala de Xicohténcatl, Tlaxcala, México C.P. 90000.

⁵ Cátedras Conacyt - Consorcio de Investigación y de Innovación del Estado de Tlaxcala. Tlaxcala de Xicohténcatl, Tlaxcala, México C.P. 90000.

⁶ Centro de Investigación en Química Aplicada, Departamento de Materiales Avanzados. Saltillo, Coahuila, México C.P. 25294. Consorcio de Investigación y de Innovación del Estado de Tlaxcala. Tlaxcala de Xicohténcatl, Tlaxcala, México C.P. 90000

Introducción

El sector textil tradicionalmente ha tenido un peso muy significativo en los sistemas productivos de los siguientes países: China, la Unión Europea resaltando a países como Italia, Alemania, España, Francia y los Países Bajos, seguido de la Unión Europea se encuentran India y Estados Unidos y, a partir de 2016 Turquía, Corea, Pakistán, Hong Kong, Vietnam, Marruecos, Bangladesh, incrementaron de forma importante su participación en el mercado mundial textil, tanto en tejidos como en prenda acabada. Algunos países que están también creciendo rápidamente son: Perú, Brasil e Indonesia (Estatista, 2015). Por su parte, México se coloca como el quinto proveedor a nivel mundial en el ramo textil, siendo el tercer generador más importante del PIB. Para los mexicanos la industria textil es soporte económico debido a la alta generación de empleo, para el primer cuatrimestre del 2018 logró una cifra extraordinaria de crecimiento de exportaciones (26 % respecto al periodo pasado). Cabe mencionar que las empresas basan su producción en las fibras sintéticas, prendas de vestir, calzado, artículos para baño y telas. Sin embargo, la competitividad y productividad de este sector requiere de un trabajo mancomunado con la ciencia y la tecnología para generar innovación tanto en proceso como en producto, así como la búsqueda de nuevas líneas alternativas y, por tanto, de nuevos nichos de mercado, que acentuarán la progresiva incorporación de nuevas técnicas y materiales tecnológicamente avanzados, así como la orientación hacia los nuevos subsectores del textil técnico.

Por su parte, en México, el Sistema de Centros Públicos de Investigación del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) impulsó el modelo de Consorcios como una opción ágil, eficiente e integral para generar infraestructura y capacidades que conlleven al crecimiento de sectores industriales clave, el florecimiento de las zonas económicas especiales, el diseño de políticas públicas, y así hacer más efectivo el aparato científico y tecnológico del país. El Consorcio de Investigación y de Innovación del Estado de Tlaxcala (CITLAX); es un Consorcio que apoya los sectores químico, automotriz y textil con oferta de investigación aplicada, desarrollos tecnológicos sustentables, ciencia básica y formación de recursos humanos. Está apalancado por diferentes centros públicos de investigación CONACYT (Figura 1) entre los que se encuentran: el Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA); la Corporación Mexicana de Investigación en Materiales (COMIMSA); el Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica (CIDETEQ), Centro de Innovación Aplicada en Tecnologías Competitivas (CIATEC), Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE).



Figura 1. Logotipo de CITLAX y vinculación de centros de investigación.
Fuente: Consorcio de Investigación y de Innovación del Estado de Tlaxcala

El objetivo propuesto por el equipo de gestión de CITLAX comprende la realización de estudios de investigación en polímeros con el objeto de atender las necesidades planteadas en la Agenda Estatal de Innovación del Estado de Tlaxcala (Conacyt, 2015). De esta forma, parte del equipo operativo que tendrá lugar en este proyecto, se propone incrementar capacidades de I+D+i para beneficiar al sector textil automotriz. La ubicación de este consorcio en la zona centro de la República Mexicana, específicamente en el estado de Tlaxcala, lo cual permitirá identificar las fortalezas, las debilidades y los desafíos estratégicos con el fin de brindar a los fabricantes, las empresas comerciales y los inversores garantía en la toma de decisiones y localizar oportunidades en este mercado de rápido crecimiento para el mundo. Es importante mencionar que a través del consorcio se prestará servicio y capacitación de vanguardia para conseguir mejoras de las condiciones socio-económicas a través de soluciones tecnológicas, sustentables, incluyentes y accesibles para las comunidades de la región, del país y Latinoamérica. Por su parte, el CIQA como socio del CITLAX desde 2016 ha destacado con avances sustanciales a través de proyectos relacionados con la elaboración de fibras inteligentes nanoestructuradas para diferentes aplicaciones industriales que actualmente dan soporte a la línea de I+D+i de textiles técnicos (Valdez Garza *et al.*, 2016). En la actualidad se formulan y ejecutan proyectos para énfasis en aplicaciones en interiores automotrices en la línea Combinada de Extrusión de Filamentos (LCEF) donde se obtienen fibras multifilamento extruidas o co-extruidas y tela no tejida de polímeros a nivel de planta piloto.

Textiles Técnicos

La ciencia y tecnología nos acercan a interesantes oportunidades de negocio que permiten articular a los diferentes sectores para lograr el alto nivel de exigencia del mercado conforme a especialización de productos y tecnificación. Lo anterior, ha permitido la migración de la industria textil a nuevos nichos de mercado, especialmente de aplicaciones textiles para fines médicos, de higiene, deportivos, la construcción, la agricultura, el transporte, la protección y seguridad personal, el medioambiente, los empaques y muchos otros propósitos en el curso de las operaciones de fabricación (como filtros, ropa de máquinas, cintas transportadoras, sustratos abrasivos) o los cuales pueden ser incorporados en otros productos industriales (componentes eléctricos y cables, juntas y diafragmas flexibles, o aislamiento acústico y térmico para aparatos domésticos e industriales) (Byrne, 2000). Otros términos son ampliamente utilizados en diferentes contextos para relacionar

un conjunto de aplicaciones como textiles inteligentes, textiles de rendimiento, textiles funcionales, textiles de ingeniería y textiles de alta tecnología.

Textiles para el Sector Automotriz

En el sector automotriz los materiales textiles en general tienen una destacada importancia, pues se aplican en diversos elementos funcionales, que van desde la propia estructura del medio (casco, carrocería, fuselaje, etc.) hasta los elementos de seguridad y el confort de los pasajeros, pasando por todos aquellos relacionados con la mecánica y el sistema de tracción. Se destacan tres grandes áreas de utilización de los textiles técnicos para automoción y transporte: decoración e interiorismo, seguridad de los pasajeros y los de uso industrial que se subdividen en materiales compuestos, en los que los textiles actúan de refuerzo, otros elementos como filtros, separadores de baterías, etc., y materiales para embalaje y transporte de mercancías y fluidos. La exigencia de otras propiedades adicionales (además del aspecto, color, tacto y durabilidad), como, por ejemplo, un determinado comportamiento frente al fuego, mantiene una cuota de mercado para ciertos materiales, donde es el caso de la fibra de lana, esencialmente por sus nobles características de tacto y confort para el que se ha establecido una normativa de protección contra incendios. Así, para tapicerías, revestimientos de murales y del suelo, reposacabezas, etc., se exigen propiedades específicas de reacción al fuego, baja toxicidad, repelencia a manchas, antimicrobianas, antiestáticas, resistencia a la abrasión, protección de rayos UV, resistencia al agua, buena solidez del color, flexibilidad, durabilidad cuidando mantener proporción entre ligereza y seguridad.

Elementos y Materiales Textiles en Automóviles

En el interior de los automóviles la tapicería representa la mayor proporción de textiles (~80 %) (Čunko, 2006), en su mayoría de origen sintético, pero las cubiertas más recomendables a utilizar son de materias primas naturales, debido a que brindan una sensación cómoda al tacto. No tienen características antialérgicas, no producen electricidad estática, son aireados y cómodos, tienen muy buenas características físico-mecánicas, etc. En cuanto a la fabricación de tela, la no tejida tiene mejores propiedades de adhesión que la tejida y, por lo tanto, la aplicación del aglutinante es más uniforme. También poseen un mayor grosor para un peso por unidad de longitud resultando más voluminosos y cómodos. Además, tienen una superficie más uniforme, lisa y aleatoria; se utilizan en forros para los techos, las sillas de auto, los filtros, el aislamiento acústico. De esta forma, los elementos de seguridad en automóviles como las bolsas de aire y cinturones de seguridad corresponden al 14 % y 4 %, respectivamente, de los textiles en el automóvil donde los materiales más utilizados presentan disyuntiva por mostrarse como una mejor opción en cuanto a la relación costo/beneficio, estos corresponden a hilos de poliamida (PA) 6,6 y poliéster (Wilson, 2016; Nyström, y Olsson, 2013). Estas no son fibras equivalentes, y las diferencias en la capacidad térmica, tenacidad, módulo y otras propiedades dan como resultado un rendimiento diferente del tejido. No obstante, la poliamida 4,7 presenta una mayor conductividad de calor (punto de fusión a 285 °C) que otros tipos de poliamida (punto de fusión a 235 °C) o por ejemplo hilos ignífugos de Aramida (Dürkopp Adler Co., IMB, 2006). En general, las telas de las bolsas de aire están hechas de hilos multifilamento de los materiales antes mencionados que pueden presentar recubrimientos, los más comunes son silicona y neopreno.

Conclusiones

Los materiales poliméricos representan un gran potencial dentro de los textiles técnicos al permitir múltiples y eficientes funcionalidades. El incremento de desarrollo tecnológico relacionado con la versatilidad de los polímeros compuestos, técnicas de procesamiento y caracterización permite una vasta posibilidad de inimaginables aplicaciones. Estrategias como el CITLAX promueven estos importantes avances tecnológicos para el sector productivo y comunidad científico-académica.

Referencias

- Byrne, C. (2000). Technical textiles market—an overview. *Handbook of technical textiles*, 1-23.
- Conacyt. (2015). Agenda de innovación de Tlaxcala. Recuperado de: <http://www.agendasinnovacion.org/wp-content/uploads/2015/03/AgendaTlaxcala.pdf>
- Čunko, R. (2006). Tekstilje – važna komponenta u suvremenoj proizvodnji automobila, *Tekstil*, 55 (6) 279-290.
- Dürkopp Adler Co., IMB. (ed). (2006). Technical information.
- Estatista. (2015). Valor de los 15 principales exportadores textiles a nivel mundial en 2014, por país (en miles de millones de dólares). Recuperado de: <https://es.statista.com/estadisticas/634739/valor-de-los-15-principales-exportadores-textiles-a-nivel-mundial-en--por-pais/>
- Nyström, A. K., y Olsson, J. (2013). *Changing to polyester in airbags-A study of two test methods used for polyester fabric analyse* (Tesis de grado). University of Borås/Swedish School of Textiles.
- Valdez Garza, J. A., Ávila Orta, C. A., Cruz Delgado, V. J., Martínez Colunga, G., Soriano Corral, F., P. G, Morones., Navarro Rodríguez, D. (2016). Nanotecnología y polímeros para desarrollar textiles inteligentes. Recuperado de: <https://www.pt-mexico.com/art%C3%ADculos/nanotecnologia-y-polmeros-para-desarrollar-textiles-inteligentes->
- Wilson, A. (2016). Innovation in textiles. Airbag fabrics: consolidation is the key. Recuperado de: <https://www.innovationintextiles.com/airbag-fabrics-consolidation-is-the-key/>
- Consortio de Investigación y de Innovación del Estado de Tlaxcala – CITLAX le invita a consultar el siguiente enlace para mayor información. Recuperado de: <https://www.citlax.mx/>

Fabricación y análisis mecánico de membranas elaboradas en base a PLA, reforzadas con CNF de chusquea Quila por la técnica de electrospinning

Manufacturing and mechanical analysis of membranes made on the basis of PLA, reinforced with CNF from Quila chusquea by the electrospinning technique

Modalidad: Póster

Alexander Gaitán¹
William Gacitúa²

¹ Universidad del Bío-Bío, Centro de Biomateriales y Nanotecnología, Departamento de Ingeniería en Maderas, Avenida Collao 1202, Concepción, Chile alexgaitan@gmail.com

² Universidad del Bío-Bío, Centro de Biomateriales y Nanotecnología, Departamento de Ingeniería en Maderas, Avenida Collao 1202, Concepción, Chile.

Resumen

En esta investigación, nanofibras de celulosa (CNF) de *Chusquea quila* fueron usadas como refuerzo del ácido poliláctico (PLA) en la fabricación de membranas en electrospinning. El objetivo de este trabajo fue analizar la incidencia de las CNF en las propiedades mecánicas del PLA. Para demostrar lo anterior, fueron elaboradas membranas sin adición de CNF y membranas con CNF en porcentajes de 1%, 3% y 5% con respecto al peso del PLA. Las CNF y las membranas fueron caracterizadas morfológicamente. Además, las CNF fueron acetiladas para lograr dispersión en el PLA. Asimismo, las membranas fueron sometidas a ensayos de tracción y resistencia al desgarro. Se encontró que la adición del 1% de CNF refuerza el material ante esfuerzos de tracción y desgarro.

Palabras claves: Acetilación, ácido poliláctico, chusquea quila, electrospinning, nanofibras de celulosa.

Introducción

El creciente interés por sustituir los polímeros derivados del petróleo, radica en que estos materiales derivados de recursos fósiles son una gran fuente de contaminación desde su producción y hasta el fin de su ciclo de trabajo, son materiales tóxicos al medio ambiente y las especies vivas del planeta, además sus propiedades de degradación son pocas (Singh, Wani y Langowski, 2017). Los biopolímeros pueden ser una alternativa a los polímeros sintéticos, ya que son materiales provenientes de recursos renovables (Ebnesajjad, 2013). Los biopolímeros por su procedencia presentan propiedades de degradación, inocuidad con el medio ambiente y seres vivos. Asimismo, se busca potenciar su comportamiento mecánico y de barrera para ser competitivos frente a los polímeros sintéticos (Thakur, 2014). Biopolímeros como el ácido poliláctico (PLA), el cual va tomando trascendencia industrial ya que cuenta con interesantes propiedades que pueden ser comparadas con las de los polímeros sintéticos, cuenta con productos elaborados cuyos residuos pueden ser tratados con los residuos orgánicos para ser convertidos en biomasa (Serna, Rodriguez y Alban, 2003; Sin, Rahmat y Rahman, 2012).

El refuerzo con partículas o nanopartículas procedentes de recursos renovables es una alternativa interesante para

mejorar las propiedades físico-mecánicas de los biopolímeros. De acuerdo a lo anterior, la nanocelulosa puede usarse para elaborar biocompuestos con el propósito que la matriz como el refuerzo mitiguen el impacto ambiental, y a su vez potencie las propiedades físico-mecánicas del material (Thakur y Singha, 2013). Las fibras vegetales son la principal fuente natural de celulosa, son biocompuestos que se dan de forma natural. Los tejidos vegetales están compuestos principalmente por celulosa, la cual actúa como material de refuerzo en gran variedad de especies (árboles, plantas, entre otros.) (Faruk, Bledzki, Fink y Sain, 2012). En este sentido el uso del bambú el cual es una fuente importante de celulosa y teniendo en cuenta que es una especie de alto crecimiento puede verse como materia prima para obtener nanofibras de celulosa (Lu, *et al.*, 2014). En el caso de la Chusquea quila, es un bambú que tiene alto crecimiento incluso robando terreno a especies endémicas y el cual no tiene un uso comercial. Además, recientes estudios realizados en el Centro de Biomateriales y Nanotecnología de la UBB demuestran su gran potencial como materia prima para la obtención de nanocelulosa (Oliveira, 2014).

Por otra parte, el uso de técnicas de fabricación como el electrospinning cumple un requisito básico para el desarrollo de nanomateriales ya que por medio de este se pueden fabricar materiales fibrosos nanoestructurados (Restuccia, *et al.*, 2010). Esta técnica puede ser útil en la fabricación de productos que pueden tener uso importante en industrias como la de alimentos, las membranas fabricadas son fibrosas y por lo tanto porosas, característica importante en los bioempaques activos (Mitchell, 2015).

Con esta investigación se pretende proponer una alternativa frente a los polímeros sintéticos, incursionando en el estudio de biomateriales compuestos, fabricados por métodos y materias primas limpias, induciendo el uso de biopolímeros y nanotecnología proveniente de recursos renovables.

Materiales y Métodos

Ácido poliláctico de Natureworks® (PLA polymer 2002D, USA). Las nanofibras de celulosa (CNF), fueron obtenidas a partir de pulpa Kraft blanqueada de Chusquea quila suministrada por el Centro de Biomateriales y Nanotecnología de la universidad del Bío-Bío y NaOH grado análisis de Merck KGaA, Darmstadt, Germany. Para la acetilación de las CNF, ácido acético glacial y anhídrido acético grado análisis de Merck KGaA, Darmstadt, Germany, ácido tartárico de Furet Ltda., Chile y acetona grado análisis de Winkler Ltda., Chile. Como diluyentes del PLA se usaron cloroformo grado analítico de Merck KGaA, Darmstadt, Germany y acetona grado analítico de Winkler Ltda., Chile.

Obtención de CNF de Chusquea quila

Las CNF se obtuvieron por medio de tratamiento mecánico de alto cizalle y homogeneización. La pulpa de Chusquea quila fue sumergida en agua destilada con NaOH (5 % p/v) por 12 horas. Luego, la suspensión fue llevada a disgregación-dispersión mecánica en equipo Ultra Turrax por 10 min a 14000 RPM. Seguido, las fibras son puestas en molino coloidal (Masuko Supermasscolloider series Microdesfibrador), con separación de discos de 0,5 μm , se realizaron pasadas continuas por 2 horas a 1500 rpm. Posteriormente, las microfibras fueron pasadas durante 2 horas y continuamente en equipo de cizalle de alta presión (MICROFLUIDIZER LM10) a 1000 bar y se obtuvo un gel compuesto de nanofibras de celulosa. Por último, el gel es llevado a centrifugación en ultracentrífuga (YINGTAI INSTRUMENT) a 12000 rpm por 30 minutos.

Acetilación

La acetilación usada consta de tres etapas (Figura 1). Etapa 1, las CNF son tratadas con ácido acético en placa magnética a temperatura ambiente y luego centrifugadas. En la etapa 2, las CNF son vertidas en una mezcla de anhídrido acético con un biocatalizador, la mezcla es agitada magnéticamente con temperatura de 120 °C por 3 horas, luego es ultracentrifugada. En la etapa 3, la muestra acetilada es sumergida en acetona y puesta en agitación a temperatura ambiente y luego ultracentrifugada.



Figura 1. Etapas de acetilación de las NFC
Fuente: Los autores

Fabricación de membranas

En la elaboración de membranas sin adición de CNF se usaron 10 mL de solución compuesta de pellets de PLA, disueltos en cloroformo/acetona (2:1) procurando que el contenido de polímero fuera del 10% de la solución. La solución fue cargada en una jeringa y llevada al electrospinning, con parámetros de fabricación: distancia inyector-colector de 20 cm, 24 kV de voltaje y 1 mL/h de flujo de solución. La fabricación de membranas con reforzamiento siguió el proceso descrito anteriormente con adición de CNF en porcentajes de 1 %, 3 % y 5 % con respecto al peso del polímero.

Caracterización de fibras y membranas

La morfología y diámetro de las CNF fue observada en microscopio de fuerza atómica (AFM). Las membranas y las fibras que la forman fueron observadas en microscopio electrónico de barrido (SEM).

Caracterización mecánica

Se realizaron pruebas de tracción según norma ASTM D882-12 y pruebas de resistencia al desgarro según norma ASTM D1938-14. Los resultados fueron comparados entre membranas de PLA y PLA-CNF. Esta prueba fue analizada mediante un diseño experimental factorial con tres factores y dos variables de respuesta. El análisis de varianza ANOVA se realizó con un nivel de confianza $\alpha = 0,05$.

Resultados y discusiones

La Figura 2 muestra CNF con diámetros promedio 30,3 nm. El tamaño es inferior a 100 nm por lo cual se considera una nanopartícula.

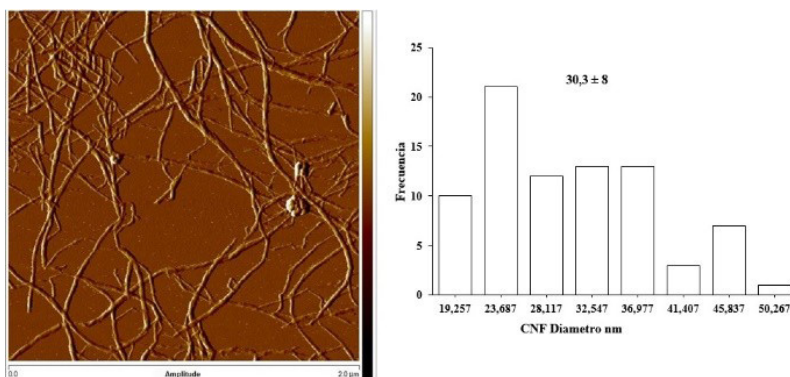


Figura 2. Imagen AFM de CNF y tamaño de partícula.
Fuente: Los autores

En la Figura 3, se muestran las imágenes SEM de membranas en base a PLA y PLA-NFC. Se observa que las membranas son formadas por fibras que poseen morfología definida sin grandes alteraciones en su estructura y que la deposición de fibras en el colector es aleatoria, es decir, no son fibras orientadas.

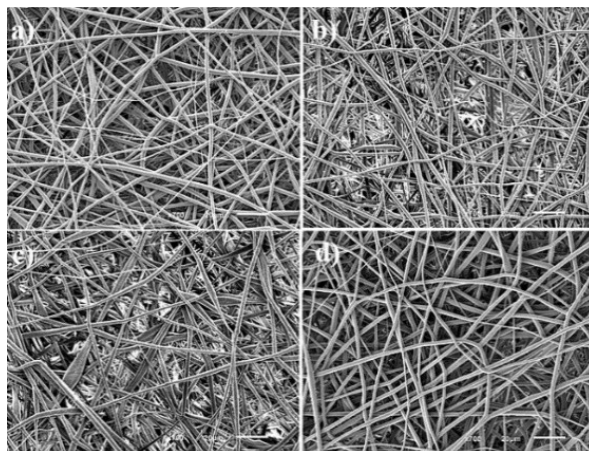


Figura 3. Imágenes SEM de membranas de a) PLA, b) PLA-CNF 1 %, c) PLA-CNF 3 % y d) PLA-CNF 5 %.

Fuente: Los autores

En la Figura 4, se observa que la adición de CNF cambia las propiedades del material. Al adicionar el 1 % y el 3 % de CNF las membranas consiguen mayor resistencia al esfuerzo. Sin embargo, esta resistencia decrece al aumentar el porcentaje de CNF (Figura 4 a). Las CNF aumentan la deformación del PLA, mejorando la elasticidad del mismo y disminuyendo su módulo concediendo características de ductilidad (Figura 4 b y c).

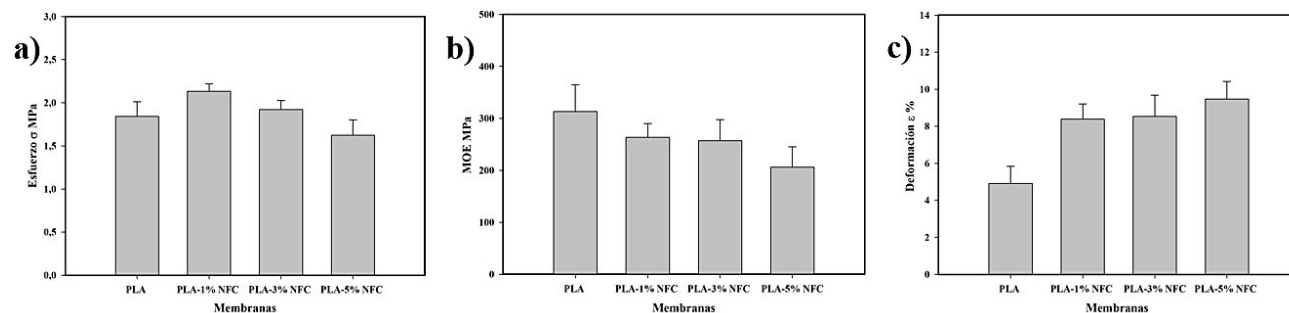


Figura 4. Resultados prueba de tracción en membranas de PLA y PLA-CNF. a) Esfuerzo, b) Modulo elástico MOE y c) Deformación

Fuente: Los autores

La Figura 5, muestra el comportamiento de las membranas ante esfuerzos cortantes y de rasgado. La adición del 1 % de CNF aumenta la resistencia al desgarro en el material, sin embargo al aumentar el porcentaje de adición de CNF la resistencia decrece.

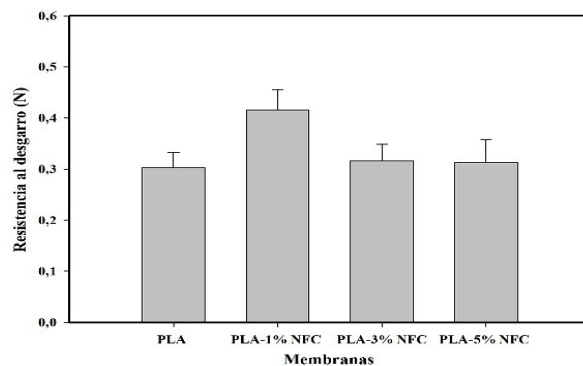


Figura 5. Resultados de la prueba de Resistencia al desgarro en membranas de PLA y PLA-CNF

Fuente: Los autores



Conclusiones

Los resultados indican que la adición 1 % de CNF en la fabricación de membranas en base a PLA refuerza el material mejorando sus propiedades mecánicas ante esfuerzos de tracción y desgarró. Las propiedades decrecen al aumentar el porcentaje de adición de CNF, sin embargo el modulo elástico cambia concediendo características de ductilidad, también, el material puede aumentar su deformación concediendo elasticidad al mismo. Las membranas obtenidas con propiedades mejoras pueden tenerse en cuenta como empaques activos en la industria alimenticia.

Agradecimientos: Los autores agradecen a los investigadores del Centro de Biomateriales y Nanotecnología de la Universidad del Bío-Bío.

Referencias

- Ebnesajjad, S. (2013). *Handbook of biopolymers and biodegradable plastics*. Amsterdam: Elsevier.
- Faruk, O., Bledzki, A. K., Fink, H., y Sain, M. (2012). Biocomposites reinforced with natural fibers: 2000–2010. *Progress in Polymer Science*. 37(11), 1552-1596. doi: <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2012.04.003>
- Lu, T., Liu, S., Jiang, M., Xu, X., Wang, Y., Wang, Z., Gou, J., Hui D., y Zhou, Z. (2014). Effects of modifications of bamboo cellulose fibers on the improved mechanical properties of cellulose reinforced poly(lactic acid) composites. *Composites: Part B. Engineering*, 62, 191-197. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2014.02.030>
- Mitchell, G.R. (Ed.). (2015). *Electrospinning. Principles, Practice and Possibilities*. Cambridge, UK: Royal Society of Chemistry. doi: <https://doi.org/10.1039/9781849735575>
- Oliveira, P. (2014). Potencial químico de la chusquea quila para la fabricación de bio-nanomateriales. En: X SEMINARIO DE NANOTECNOLOGÍA, 13 de Noviembre del 2014. Santiago, Fundación Copec, Universidad Católica de Chile.
- Restuccia, D., Spizzirri, U. G., Parisi, O. I., Cirillo, G., Curcio, M., Lemma, F., Puoci, F., Vinci, G., y Picci, N. (2010). New EU regulation aspects and global market of active and intelligent packaging for food industry applications. *Food Control*, 21(11), 1425-1435. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2010.04.028>
- Serna, L., Rodriguez, A., y Alban, F. (2003). Ácido Poliláctico (PLA): Propiedades y Aplicaciones. *Ingeniería y Competitividad*, 5(1), 16-26. doi: <https://doi.org/10.25100/iyc.v5i1.2301>
- Sin, L. T., Rahmat A. R., y Rahman, W. A. (2012). *Polylactic Acid. PLA Biopolymer technology and Applications*. ELSEVIER.
- Singh, P., Wani, A., y Langowski, H. C. (2017). *Food Packaging Materials: Testing & Quality Assurance*. Boca Ratón, USA: CRC Press. doi: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-24732-8>
- Thakur, V. (Ed.). (2014). *Nanocellulose Polymer Nanocomposites: fundamentals and applications*. John Wiley & Sons.
- Thakur, V., y Shinga, A. S. (Ed.). (2013). *Biomass-based Biocomposites*. Smithers Rapra.