

**Producción de membranas de nano celulosa a partir de residuos agroindustriales
y su relación en la fabricación de películas para envases en la industria
alimentaria**

Trabajo de grado para optar por título de Especialista en Alimentación y Nutrición

Ani Yulied Zapata Vergara

**Asesor
Alejandro Soto Ospina
Qco, Ph.D. en Ciencias Químicas**

**Unilasallista Corporación Universitaria
Facultad de Ingenierías
Programa de Especialización en Alimentación y Nutrición
Caldas-Antioquia
2025**

Contenido

Resumen	4
Introducción.....	5
Planteamiento de problema	8
Justificación.....	9
Marco Teórico.....	12
Metodología	16
Resultados	19
Conclusiones	22
Referencias	24

Lista de Figuras

Figura1 _____	18
<i>Flujograma de metodología PRISMA en la depuración de la información.</i> _____	18
Figura 2 <i>Muestra de análisis según la base de datos generada a partir de las membranas de Nano celulosa y sus características potenciales</i> _____	20

Resumen

En la actualidad existe el interés de utilizar los desechos agroindustriales en otros procesos; ejemplo de este es la obtención de Nano Celulosa (NC) obtenida de diferentes medios; es importante destacar que este sustrato de interés “constituye el recurso natural polimérico renovable más abundante producido en la tierra con una producción anual estimada en más de 7.5×10^{10} toneladas en los últimos años, la (NC) ha ganado gran atención debido a su capacidad de renovación, biocompatibilidad, biodisponibilidad y diferentes propiedades notables.

El objetivo de este trabajo es abarcar temas como el método de obtención de celulosa aprovechando los residuos agroindustriales como materia prima para su obtención aplicando hidrólisis ácida y alcalina, posteriormente blanqueamiento con hipoclorito de sodio y sonicación como método mecánico para forzar el rompimiento de las fibras de celulosa.

Revisando los temas de interés como el aprovechamiento de residuos agroindustriales y la generación de plástico en grandes cantidades que causa actualmente una problemática ambiental por su degradación lenta este trabajo se enfoca en la revisión sistemática tecnológica para los últimos 10 años, sobre el tema de obtención de Nano celulosa utilizando residuos agroindustriales y su relación de cómo se puede utilizar en la fabricación de películas para envases en la industria alimentaria.

Palabras clave: Residuos agroindustriales aprovechables, Nano celulosa, Hidrólisis, Envase, películas, Biodegradabilidad.

Introducción

El cambio climático es una realidad y día a día la contaminación subyacente del uso de plásticos en los empaques de los alimentos, es una práctica que debe ser sustituida por nuevas tendencias y empaques inteligentes que puedan ser biodegradables y que permitan una degradación alta por parte de los microorganismos presentes en el ambiente (Aretoulaki, et al, 2020; Thushari & Senevirathna, 2020).

Las necesidades diarias por suplir las demandas nutricionales, ha provocado que en las industrias alimentarias la innovación sea un hecho clave que permita la obtención de biopolímeros como la celulosa, específicamente la Nano celulosa debido a sus grandes propiedades mecánicas, térmicas y ópticas, como material prometedor en la industria y él cual puede ser obtenido de diversas fuentes vegetales, destacando la cristalinidad y resistencia (Salas, et al, 2014; Thushari & Senevirathna, 2020).

La Nano celulosa es un polímero natural que puede obtenerse por diversas vías, unas de origen químico y otras de origen biotecnológico, en estos procesos se produce la descomposición de la Nano celulosa en nano fibras de manera mecánica, las cuales quedan más biodisponibles, pueden interactuar a través de una hidrólisis acida, con el objetivo de romper los enlaces en la celulosa (β 1-4) (Thushari & Senevirathna, 2020; Lee, 2014). La Nano celulosa luego de este proceso, al reaccionar las regiones amorfas, queda con muchos fragmentos cristalinos la cual se conoce como Celulosa Nano Cristalina (CNC), lo cual también se puede complementar con métodos físicos de alta presión que fracturan la Nano celulosa por las regiones más susceptibles que son las amorfas y dejan la nano celulosa cristalina (D. Pradhan, et al, 2022). En términos biotecnológicos existen enzimas que pueden actuar parecido a las enzimas que descomponen amilasa, como son aquellas enzimas que realizan la descomposición de la celulosa en unidades de monosacáridos o fragmentos más digeribles como son las endocelulasas, exocelulasas y β -glucosidasas, las cuales producen nano fibras

de celulosa (CNF) y permiten explorar diversas aplicaciones a nivel industria (A. F. Jozala, 2016). Dentro de la innovación que se puede realizar en los laboratorios, los biopolímeros se producen a partir de recursos renovables de origen biológico, como plantas, animales o microorganismos, los cuales son biodegradable en condiciones ambientales específicas como humedad, radiación, temperatura, entre otros (Van De Velde & Kiekens, 2002).

Estos materiales están diseñados para sustituir los plásticos convencionales obtenidos de las industrias petroquímicas como derivados del petróleo, ofreciendo una opción más ecológica y sostenible. En el ámbito de los empaques de alimentos, los biopolímeros, como el almidón, el ácido poli-láctico (PLA) o la celulosa, se utilizan para fabricar envases y películas (films), que son biodegradables y que pueden ser compostables, reduciendo así el impacto ambiental de los desechos plásticos. Estos empaques no solo ofrecen una solución más amigable con el medio ambiente, sino que también pueden ser funcionales, protegiendo los alimentos de la humedad, la luz y contaminantes atmosféricos, lo que puede ayudar a prolongar la vida útil de los alimentos (Tang, et al, 2012; M. Stoica, et al, 2020).

En este contexto, la presente investigación se centra en el estudio de la producción de nano celulosa a partir de fuentes no convencionales y su potencial aplicación en diferentes sectores. En particular, se explorará la utilización de residuos agroindustriales como materia prima, lo cual permitiría agregar valor a estos subproductos y reducir el impacto ambiental.

A partir de los enfoques a través de la biotecnología, existe una cepa bacteriana que está siendo bastante estudiada por su potencial en producción de biomembranas y es la bacteria *Komagataeibacter xyloisus*, la cual se caracteriza por producir celulosa microbiana de alta calidad a partir de extracto de mango o diversos residuos hortofrutícolas o fuentes carbonáceas (Volova, et al, 2018; Singhsa, et al, 2018). Esta cepa bacteriana, aislada de té kombucha, presenta ventajas significativas respecto a la celulosa vegetal, tales como una mayor pureza y cristalinidad. Estos hallazgos abren nuevas perspectivas para la producción de nano celulosa

bacteriana con aplicaciones en diversas industrias, incluyendo la alimentaria, electrónica, textil y biomédica (Molina-Ramírez, et al, 2018).

Uno de los productos que más está siendo explorado en la actualidad son las nano fibras de celulosa (NFC) y los nano cristales de celulosa (NCC), las cuales están siendo muy usadas en las industrias alimentarias para la encapsulación de aceites esenciales o incluso aceites tipo omega (Ω) (Golmohammadi, et al, 2023; Wang, 2017). Esto sucede dado que al contener los grupos hidroxilos, pueden tener una muy buena función como estabilizante de emulsiones o suspensiones, las cuales evitan la coalescencia y segregación de las fases coloidales (Das & Fernandez, 2020). En términos de empaques, las fibras de Nano celulosa se combinan con algunos polímeros sintéticos, los cuales podrían utilizarse para la elaboración de envases biodegradables, contribuyendo a la reducción de la contaminación por plásticos y micro plásticos, encontrados en diversos tejidos en humanos y animales (Li, et al, 2017; Fathi, et al, 2019).

Finalmente, el propósito de esta monografía es brindar una aplicación a las biomembranas que han sido tan estudiadas en la actualidad, a partir de sus diversas propiedades químicas y físicas, pueden pensarse como alternativa de empaque en la industria de alimentos, impactando en la calidad de los productos y en el medio ambiente.

Planteamiento de Problema

“Actualmente en el mundo se desechan aproximadamente 2.100 millones de toneladas de residuos anualmente” (Banco BBVA, 2024). “Nuestro país produce 12 millones de toneladas de basura al año, de las cuales gran cantidad de éstas se encuentran en los rellenos sanitarios, generando focos de contaminación para la salud pública” (Rodríguez,2023).

También se debe resaltar que en la actualidad los plásticos se acumulan en grandes cantidades debido a su degradación muy lenta generando problemas ambientales; la extracción de Nano celulosa (NC) es un proceso biológico ofreciendo valores agregados como biodegradabilidad y biocompatibilidad y su uso en un amplio número de aplicaciones que van desde la producción de películas hasta el uso en aplicaciones en la industria alimentaria (Zinge & Kandasubramanian, 2020; Frank, 2021),

Dados los antecedentes expuestos, la finalidad de este trabajo es realizar una revisión sistemática bibliográfica a nivel nacional e internacional, sobre la obtención de NC a partir de residuos agroindustriales y su relación en la fabricación de películas para envases en la industria alimentaria, estudiando así que es la NC, su proceso de obtención, variables del proceso y tecnologías utilizadas actualmente para fabricar las películas de NC.

Justificación

La nano celulosa consiste en un polímero de unidades de glucosa cuya cristalinidad, pureza química (libre de lignina y hemicelulosa) y carácter hidrófilo, entre otras propiedades que permiten su aplicación en la industria alimentaria como espesante, estabilizante, reductor de calorías y aportante de fibra dietaria (VanderHart & Atalla, 1984; Islam, et al, 2017).

Actualmente se ha estudiado este compuesto el cual tiene gran potencial para ser aplicado en la industria de alimentos y envases; la NC hace que las propiedades mecánicas de un envase mejoren dándole características predominantes como resistencia, buena barrera y biodegradabilidad (Souza, et al, 2019).

Partiendo de la forma de obtención de la NC que puede ser de forma natural a partir de la materia prima vegetal se pretende revisar su obtención a partir de residuos agroindustriales para posteriormente utilizarla en la fabricación de películas para envases de alimentos. Actualmente una de las problemáticas en común para los países son los problemas ambientales por la gran cantidad de generación de residuos sólidos aprovechables y no aprovechables los cuales se han convertido en un problema ambiental y económica para las empresas que lo generan; gran ejemplo de esta contaminación ambiental es la proveniente de los residuos sólidos no aprovechables provenientes de los empaques de alimentos los cuales se producen en grandes cantidades además el aumento de la población por usar y tirar hace que este tipo de residuos resulten ser difícilmente asimilables por la naturaleza (Ahankari, 2021).

Centrándonos en la generación de residuos agroindustriales y con el aumento de la población mundial como por ejemplo, en nuestro país Colombia en el año 2013 hubo 46,08 millones de habitantes frente al año 2022 donde en censo se cuantificaron 51,87 millones de habitantes (Datos Mundial,2024); la cantidad de residuos agroindustriales disponibles y la búsqueda constante de las empresas para innovar y gestionar la eliminación de estos de una

manera sostenible para la mitigación del impacto ambiental se convierten en temas de alto desafío para el futuro.

En la actualidad se usa el concepto de las tres R, reducir, reutilizar y reciclar, basados en el concepto de las tres R podemos utilizar estos residuos agroindustriales como materia prima del ciclo natural para producir NC y contribuir así a disminuir el impacto social y ambiental producido por el material plástico de los empaques de alimentos los cuales la mayoría se van a los vertederos ocasionando grandes problemas; hablar de reciclar plástico no están sencillo, “En ocasiones donde solo vemos plástico, hay en realidad diferentes capas con propiedades distintas: podemos encontrar que hay polietileno, EVA o adhesivos, haciendo el reciclado más complejo” (Banco BBVA, 2024).

Los biopolímeros aparecen como posible solución a este problema ambiental ya que estos son producidos por organismos vivos que se encuentran en la naturaleza, ejemplo de estos es la NC, con los cuales se pueden fabricar polímeros que se degradan fácilmente y no generan compuestos dañinos para el medio ambiente (Isogai, 2021; Mateo, et al, 2021).

Aprovechando que la demanda de producción de NC está en crecimiento este proyecto de revisión sistemática busca obtener información sobre la obtención NC a partir de residuos agroindustriales y su relación en la fabricación de películas para envases en la industria alimentaria.

Objetivos

Objetivo General

Realizar una revisión sistemática de las publicaciones realizadas en los últimos diez años sobre la metodología y los criterios necesarios para la obtención de nano celulosa a partir de residuos agroindustriales y su relación en la fabricación de películas para envases en la industria alimentaria.

Objetivos Específicos

- Analizar la información científica originada en los últimos 10 años acerca de la obtención de nano celulosa partir de residuos agroindustriales.
- Describir los principales medios de obtención de NC que se han publicado para producir NC con las mejores condiciones para el uso en la aplicación de fabricación de películas para envases en la industria alimentaria.
- Revisar las propiedades y características de NC en la aplicación de fabricación de películas para envases en la industria alimentaria.
- Revisar existencia de normatividad legal relacionada a Buenas prácticas de manipulación en la fabricación y uso de NC en la aplicación de fabricación de películas para envases en la industria alimentaria.

Marco Teórico

Buscando aportar para disminuir los residuos agroindustriales generados y plásticos que por su lenta degradación se vuelven un problema de salud pública en términos medio ambientales, por el incremento en su producción. Por ende, como propósito de la revisión, se atenderán métodos y maneras de producción de NC, a partir de residuos agroindustriales y su relación en la aplicación de fabricación de películas para envases en la industria alimentaria.

El marco teórico abordará conceptos como: Residuos agroindustriales aprovechables, Nano celulosa, hidrolisis, Envasado.

Residuos Agroindustriales Aprovechables

Los procesos productivos en general dependen de la pureza de los reactivos y los rendimientos de las reacciones para poder obtener la mayor cantidad de producto terminado, ya que eso hace disminuir los gastos dentro de un proceso. Sin embargo, particularmente pueden ocurrir pérdidas por errores operativos o porque las reacciones o la infraestructura tienden a generar subproductos o residuos, los cuales tienden a perderse (L. G. Nair, et al, 2022). Por esta razón buscar productos de valor agregado para estos residuos es fundamental dentro de las cadenas productivas. El sector agroindustrial no es una excepción, ya que también produce residuos que se definen como materiales sólidos o líquidos obtenidos del consumo directo de productos primarios o de su industrialización. Estos residuos ya no sirven para el proceso que los originó, pero pueden ser aprovechados o transformados para obtener otro producto con valor económico, comercial o social. Cada subsector de la agroindustria produce residuos específicos, los cuales, en su mayoría, presentan características que permiten su utilización en otras cadenas de producción o como una alternativa para tratar o recuperar medios contaminados. Por lo que los residuos agroindustriales han cobrado vital

importancia en la posibilidad de ser transformados dentro de procesos, como las pectinas, celulosa, almidón y demás fuentes aprovechables (Hamza, 1989; Ahmad Khorairi, 2023).

Celulosa

La celulosa es el polímero natural más común y abundante en la naturaleza, constituyendo el principal componente estructural de las células vegetales. Su fórmula molecular en términos de la composición química es para un monosacárido de $[C_6H_{10}O_5]_n$, el cual puede polimerizar para generar un polisacárido y en la fórmula el símbolo "n" indica el número de unidades repetidas entre 10,000 y 20,000 las cuales pueden variar dependiendo su naturaleza. Esta sustancia está formada por largas cadenas lineales compuestas por unidades de glucosa anillada. Estas unidades de glucosa se encuentran unidas mediante enlaces β -1,4-glucosídicos, que son enlaces covalentes que se establecen entre el carbono 1 de un anillo de glucosa y el carbono 4 de la glucosa adyacente. La celulosa es la base de estructuras tan diversas como la pared celular de las plantas y también tiene diversas aplicaciones industriales, como la producción de papel, textiles y biocombustibles (Börjesson & Westman, 2015; Seddiqi, 2021).

Nano Celulosa

La nano celulosa hace referencia a los materiales derivados de la celulosa que tienen un tamaño dimensional en el rango de los nanómetros. Estas fibras de nano celulosa típicamente presentan un diámetro menor a 100 nm y longitudes que pueden alcanzar varios micrómetros. Esta estructura a nivel nanométrico es ligera, con una densidad baja para sólidos que ronda los 1.6 g/cm^3 . Contiene un área superficial alta, lo que la hace muy útil para interacciones superficiales. Además, su resistencia a la tracción es considerablemente alta, con un módulo elástico que varía con un valor máximo de presión de 150 GPa, comparable o

superior al de materiales como el Kevlar y el hierro fundido. Otra de sus características notables es su alta transparencia, así como la abundancia de grupos hidroxilo en su superficie, los cuales pueden favorecer las derivatizaciones y ayudan a que sea modificable para obtener propiedades específicas que amplían su uso (Zhou, et al, 2021; Trache, 2020).

Gracias a estas propiedades excepcionales, sumadas a su biodegradabilidad y capacidad de renovarse, la nano celulosa tiene un gran potencial para una variedad de aplicaciones. Estas incluyen el uso como material de refuerzo, en la fabricación de materiales ópticos, conductores eléctricos, en biomedicina, farmacología, entre otros. Dependiendo de su tamaño, estructura y las técnicas empleadas para su preparación, los nanomateriales de celulosa se dividen en dos categorías principales: los materiales de nanoestructura de celulosa (como los microcristales de celulosa y las microfibrillas de celulosa) y los nano objetos de celulosa, que incluyen los CNC (nano cristales de celulosa), CNF (nano fibrillas de celulosa) y BNC (nano celulosa bacteriana) (Balea, et al, 2020; Blanco, et al, 2018).

Las nano fibras de celulosa (CNF) se obtienen mediante procesos físicos y mecánicos que no requieren el uso de productos químicos. Estos métodos destruyen las fuerzas intermoleculares entre las cadenas de celulosa adyacentes, pero conservan la estructura molecular. Entre las técnicas utilizadas se incluyen la micro fluidización, la homogenización a alta presión, la molienda y el ultrasonido. Sin embargo, estos procesos suelen ser energéticamente intensivos, ya que se aplican presiones de hasta 200-300 bares, lo que permite deslaminar las fibras de celulosa al romper las uniones entre ellas. Para reducir el consumo de energía y eliminar componentes no deseados, como la lignina y la hemicelulosa, se recomienda realizar pretratamientos antes del proceso de aislamiento, tales como tratamientos ácido-alcalinos, hidrólisis enzimática, carboximetilación parcial u oxidación con catalizadores (Menon & R. Selvakumar, 2017; Carter, et al, 2021).

Envase

Los envases dentro de la producción industrial del área de los alimentos juegan un rol esencial en la protección, conservación y mejora de la calidad y seguridad de los alimentos durante su transporte, distribución y almacenamiento. Durante años, los materiales más comunes para la fabricación de estos envases han sido plásticos derivados del petróleo, como el tereftalato de polietileno (PET), cloruro de polivinilo (PVC), poliamida (PA), poliestireno (PS), polipropileno (PP) y polietileno (PE), así como materiales como el papel, metal y vidrio. El uso generalizado de los plásticos se debe a sus numerosas ventajas, como sus excelentes propiedades mecánicas, rigidez y flexibilidad, así como su capacidad de actuar como barreras efectivas contra el oxígeno y la humedad, lo que ayuda a prolongar la vida útil de los alimentos. Además, estos plásticos son de bajo costo y facilitan la producción a gran escala (Papageorgiou, et al, 2023; Lee, 2021).

Sin embargo, el impacto ambiental negativo asociado con el uso masivo de plásticos de un solo uso ha impulsado el desarrollo y la adopción de empaques biodegradables. Estos empaques, elaborados a partir de materiales como almidón, celulosa, proteínas vegetales y bioplásticos derivados de fuentes renovables, buscan reemplazar los plásticos tradicionales, ofreciendo una opción más sostenible. Los empaques biodegradables tienen la capacidad de descomponerse de manera natural a través de procesos biológicos, lo que reduce significativamente el impacto ambiental y la contaminación plástica. Además, muchos de estos materiales biodegradables también cumplen con propiedades funcionales similares a los plásticos convencionales, como la resistencia, la protección contra la humedad y la capacidad de alargar la vida útil de los productos alimenticio (Cheng, et al, 2024; Ibrahim, 2022).

Metodología

La metodología de la recolección de la información se hizo por etapas considerando los parámetros de búsqueda de la información por PRISMA, considerando al final un flujograma para el manejo y depuración de la información como se describe en los subítems.

Revisión Sistemática

Para la obtención de la información se realizó una revisión sistemática donde se indago sobre estudios publicados en los últimos diez años acerca de obtención de NC a partir de residuos agroindustriales y su relación en la fabricación de películas para envases en la industria alimentaria.

En la búsqueda se tienen en cuenta los artículos que tengan como objetivo abarcar la pregunta de investigación y temas como: obtención de NC, obtención de NC a partir de residuos agroindustriales, elaboración de películas para envases, publicaciones de los últimos 10 años.

La búsqueda se realizó durante el año 2024 en las bases de datos disponibles en la biblioteca Unilasallista como: EBSCO, PubMed, Scopus®, los repositorios digitales SciELO, RedALyC, editoriales académicas como Elsevier, y los repositorios abiertos como el institucional de Unilasallista, entre otros. Para ello se emplea los operadores booleanos que relacionen la palabra *nanocellulose* con los términos *Industrial production*.

Organización de la Información

Tras realizar la búsqueda, se seleccionaron 15 artículos, como criterio de inclusión se tuvo en cuenta las publicaciones realizadas con el enfoque de obtención de NC a partir de residuos agroindustriales y NC en la aplicación de películas para envases en la industria alimentaria. El principal criterio de exclusión se aplicó sobre los artículos que no incluyan los

principios descritos anteriormente como por ejemplo obtención de NC de otras materias primas que no fueran residuos agroindustriales aprovechables, artículos publicados hace más de 10 años.

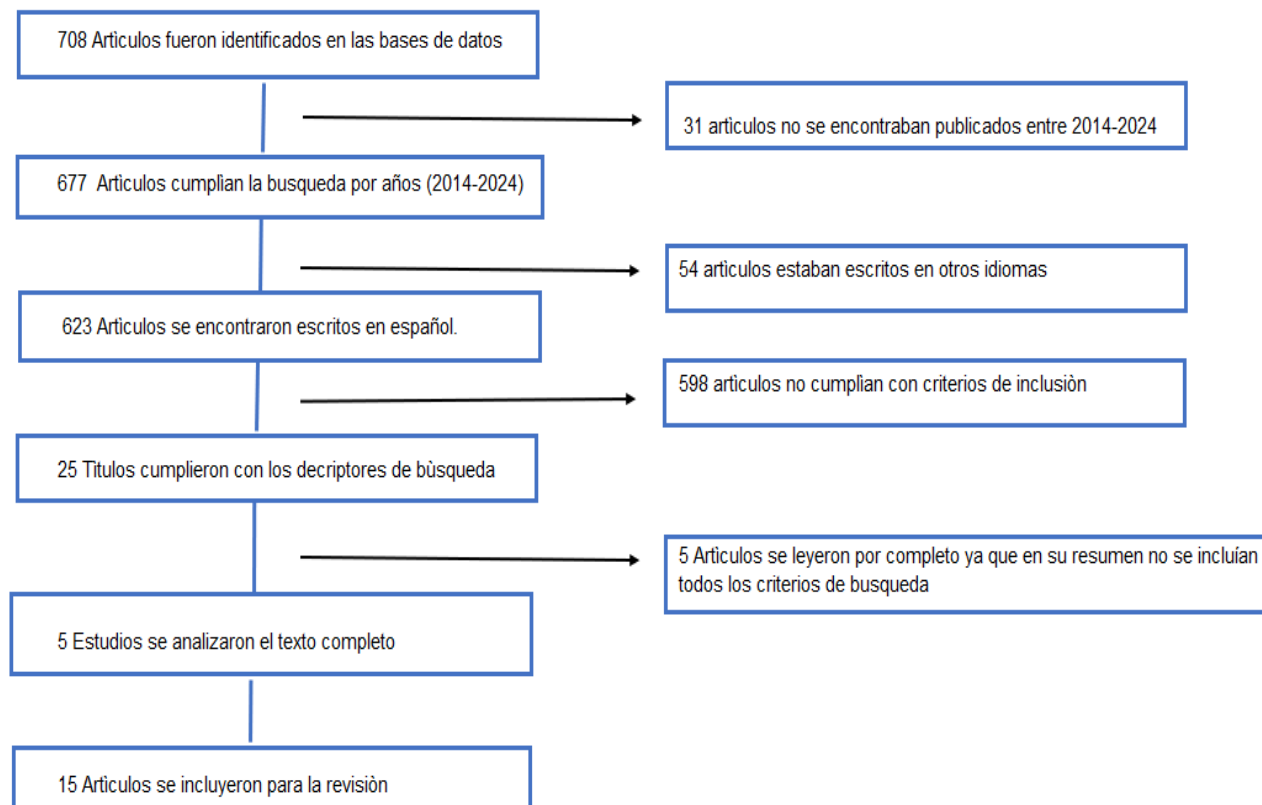
Para seleccionar los artículos de interés se establece como criterio inicial la revisión de los resúmenes para identificar la idea central de la investigación. En caso de ser necesario se examinará el artículo completo con el fin de decidir si la información es relevante para el estudio. Entre los criterios de selección para los artículos de revista están: que la publicación haya sido citada en otros artículos, que pertenezca a un journal clasificado en scimago, que haya sido publicado bajo la evaluación por pares. La información obtenida se organiza de manera que permite presentar de manera más detallada e informativa las búsquedas y los resultados obtenidos que son incluidos en la revisión, estableciendo las diferencias en cada etapa del proceso

Filtrado de los Resultados de Búsqueda

Se implemento una matriz en Excel donde se describe de forma ordenada la información de cada artículo como: el nombre de la publicación, autores, temas claves como: aprovechamiento de residuos agroindustriales, NC, películas en envases alimentarios y finalmente conclusiones.

Figura1

Flujograma de metodología PRISMA en la depuración de la información.



Fuente: Elaboración propia

Resultados

En la búsqueda en bases de datos se encontraron 708 artículos utilizando los temas de estudio y palabras clave, de los cuales 25 cumplieron con los criterios iniciales de búsqueda, de esta manera se obtuvieron 5 artículos para el análisis de texto completo y finalmente 15 artículos de los 25, cumplieron con los criterios de selección de la revisión, que incluían los criterios de búsqueda enfocados en la producción de Nano celulosa, métodos químicos o biotecnológicos de producción, los cuales se consignan en una base de datos que se anexa como material suplementario de la monografía.

Figura 2 Muestra de análisis según la base de datos generada a partir de las membranas de Nano celulosa y sus características potenciales

Nombre del artículo	Autor/ Año	Residuos utilizados	Método de obtención de nanocelulosa	Método de caracterización	Uso de nanocelulosa Obtenida	Conclusión
Aislamiento y caracterización de nanocelulosa a partir de distintos residuos agroindustriales	R Fernández Leal, S.B. Brachetti Sibaja, Torres-Huerta A.M Torres Huerta A.M, M.A. Domínguez Crespo/ 2023	Plátano, Bagazo de aloe vera, Bagazo de caña de azúcar.	Pretratamiento, lavado y secado, seguido de un proceso de extracción Soxhlet, para eliminar compuestos no deseados, un blanqueamiento y designificación. Se realizó tratamiento de hidrólisis de ácida utilizando una disolución de H ₂ SO ₄ con una concentración de 55% en peso, a 30 minutos, empleando temperaturas de 40, 45 y 50 °C. Se realizó una extracción de la nanocelulosa con H ₂ SO ₄ 65% en peso, 15 minutos con una temperatura de 25, con agitación constante durante un periodo de tiempo de 30 minutos, a una temperatura 40,45 o 50 °C. La nanocelulosa hidrolizada, se centrifuga a 5000 rpm, durante 20 min en dos ciclos.	Espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier, (FTIR) para identificar los grupos funcionales característicos de estos residuos; difracción de rayos X (DRX), para estudiar su estructura cristalina y dispersión dinámica de luz (DLS), para determinar el tamaño del radio hidrodinámico de las partículas de nanocelulosa.	No descrito	Las biomásas de residuos agroindustriales del bagazo de Aloe vera, pseudotallo de plátano y bagazo de caña de azúcar, son fuentes no convencionales de celulosa, al ser utilizados como materia prima contribuyen a mejorar el impacto ambiental.
Obtención de nanocelulosa a partir de residuos postcosecha	Pérez, Ricardo Hernández; Álvarez Castillo, Alberto; Olarte Paredes, Alfredo; Salgado Delgado, Areli Marlen/ 2023	Residuos agroindustriales post cosecha	Varios de los artículos lo hacen por hidrólisis ácida	Espectroscopia infrarroja, microscopia de fluorescencia	No descrito	Depende del artículo
Producción de nanocelulosa a partir de rastrojo de piña y raquis de palma africana	Vargas Mesacete de palma y el rastrojo de piña,én, Jairo; Rodríguez Mora, Karina; Jirón García, Eddy; Bernal Samaniego, Cesar/2023	Aceite de palma y rastrojo de piña	Se caracterizo químicamente el rastrojo de piña y el raquis de aceite de palma africana, se sometio a degradación química y tratamientos mecánicos para obtener nanofibras de celulosa. Se degrado las fibras con ácido acético (HOAc)	Microscopía visible, microscopía de fluorescencia, Espectroscopia infrarroja, Difracción de rayos X y microscopia electrónica de transmisión.	No descrito	Las hojas de piña y los raquis de aceite de palma africana presentaron contenidos de celulosa de 35,8 ± 0,5% y 17,9 ± 0,1%, respectivamente. Se obtuve nanofibras con espesores de 40nm y 10,8nm.
Manejo de la cascarilla de arroz como residuo postcosecha y su conversión en nanocelulosa	Pérez, Ricardo Hernández; Olarte Paredes, Alfredo; Salgado Delgado, René; Salgado Delgado, Areli Marlen; Medrano, Atenas Salomé; Martínez Candía, Fryda R. / 2023	Cascarilla del arroz	La cascarilla de arroz fue tamizada, procesada mediante extracción alcalina, blanqueada y procesada por un pretratamiento ácido. A la celulosa obtenida se le realizó una hidrólisis ácida (H ₂ SO ₄) y un tratamiento de sonicación para producir nanocelulosa.	Fueron procesadas por (FTIR), (DSC) y visualización morfológica, mediante (SEM).	No descrito	Este residuo puede tener un manejo sostenible y convertirse en un producto reciclable de alto potencial.

En los artículos buscados se encuentra en común la utilización de los residuos agroindustriales para la elaboración del medio de cultivo necesario para la obtención de nano celulosa bacteriana presenta un medio beneficioso para la sostenibilidad, económica circular e innovación tecnológica, reduciendo así y aprovechando los residuos agroindustriales generados por las industrias el cual ayuda a la sostenibilidad ambiental debido a la obtención de NC que al final tiene grandes ventajas como su pureza, resistencia mecánica y biocompatibilidad el cual resultados favorables en la utilización de los empaques de alimentos.

Lo más común en la obtención de la NC es utilizar la técnica de hidrólisis acida la cual resulta más rentable y con buen rendimiento en la obtención de la misma, las investigaciones preliminares por la industria y otros investigadores parecen indicar que es factible conseguir NC significativa en diferentes tipos de residuos aprovechables con esta técnica de hidrólisis ácida.

Las autoridades que vigilan la inocuidad de los alimentos deben instar a las industrias dedicadas en la elaboración de empaques a trabajar para mejorar las tecnologías de elaboración de empaques de alimentos con el fin de que bajen significativamente la contaminación ambiental y que estos tipos de empaque no aumenten o introduzcan peligros microbiológicos y químicos al alimento.

En los artículos buscados se relaciona que el uso de NC en la estructura multicapa de un empaque es capaz de reducir la permeabilidad al oxígeno significativamente, mientras que se mantiene la barrera a la humedad de los materiales usados como control y minimización de la degradación térmica durante el procesamiento y optimización de propiedades mecánicas, siempre bajo la premisa de mantener un material completamente biodegradable.

Conclusiones

Se encuentran 15 artículos de los cuales coinciden al hablar de la nano celulosa y las ventajas que tiene al poder ser utilizada en varias industrias por su capacidad de cristalinidad, resistencia y demás; en la mayoría de los artículos analizados se encuentra que hay mayor rendimiento de producción utilizando materias primas de origen vegetal con hidrólisis.

La inclusión de NC en la industria alimentaria tiene muchas ventajas, estas radican en sus propiedades de compatibilidad, como aportes de fibra de buena y un producto de producción sustentable. Con las revisiones anteriores se puede evidenciar que se requieren más estudios y tecnificación para su producción con el fin de obtener producciones de buen rendimiento, bajo costo y que cumpla con estándares de calidad.

La NC si se puede obtener de residuos agroindustriales teniendo así materias primas de bajo costo lo que puede verse reflejado en el costo de producción final.

El método más utilizado en la obtención de nano celulosa es la hidrólisis acida caracterizado por Espectroscopia infrarroja

Esta revisión actualizada según objetivo propuesto servirá para futuras investigaciones, en relación al aprovechamiento de residuos agroindustriales en la obtención de NC donde sus principales beneficiarios serán Investigadores, estudiantes, empresarios y personas en general que requieran conocer sobre la obtención de NC a partir de residuos agroindustriales de y su relación en la fabricación de películas para envases alimentarios.

La nano celulosa en la elaboración de películas para la elaboración de envases en la industria alimentaria necesita ser más estudiada y ensayada con alimentos en la vida real, con los pocos estudios que hay a la fecha y lo revisado en los artículos se encuentra que estas películas reducen la permeabilidad del oxígeno y lo hace un material completamente biodegradable amigable con el medio ambiente.

Por último, las empresas que generan altos volúmenes de residuos agroindustriales aprovechables tendrán la oportunidad de leer este artículo investigativo y podrán obtener alternativas para aprovechar estos residuos y así mitigar o disminuir el impacto ambiental generado en dicha industria.

Referencias

- A. Balea, C. Campano, C. Negro, and A. Blanco, "Industrial Application of Nanocelluloses in Solutions , and Market Perspectives," *Molecules*, vol. 25, pp. 526–556, 2020.
- A. Blanco, M. C. Monte, C. Campano, A. Balea, N. Merayo, and C. Negro, *Nanocellulose for industrial use: Cellulose nanofibers (CNF), cellulose nanocrystals (CNC), and bacterial cellulose (BC)*. Elsevier Inc., 2018. doi: 10.1016/B978-0-12-813351-4.00005-5.
- A. Dufresne, "Nanocellulose Processing Properties and Potential Applications," *Curr. For. Reports*, vol. 5, no. 2, pp. 76–89, 2019, doi: 10.1007/s40725-019-00088-1.
- A. F. Jozala et al., "Bacterial nanocellulose production and application: a 10-year overview," *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, vol. 100, no. 5, pp. 2063–2072, 2016, doi: 10.1007/s00253-015-7243-4.
- A. Golmohammadi, M. S. Razavi, M. Tahmasebi, D. Carullo, and S. Farris, "Cinnamon Essential-Oil-Loaded Fish Gelatin–Cellulose Nanocrystal Films Prepared under Acidic Conditions," *Coatings*, vol. 13, no. 8, pp. 1–11, 2023, doi: 10.3390/coatings13081360.
- A. Hamza, "Utilization of Agro-industrial residues in Alexandria: Experience and prospects," *Biol. Wastes*, vol. 29, no. 2, pp. 107–121, 1989, doi: 10.1016/0269-7483(89)90091-8.
- A. Isogai, "Emerging Nanocellulose Technologies: Recent Developments," *Adv. Mater.*, vol. 33, no. 28, pp. 1–10, 2021, doi: 10.1002/adma.202000630.
- A. Kramar and F. J. González-Benito, "Cellulose-Based Nanofibers Processing Techniques and Methods Based on Bottom-Up Approach—A Review," *Polymers (Basel)*, vol. 14, no. 2, 2022, doi: 10.3390/polym14020286.
- A. N. S. Ahmad Khorairi et al., "A Review on Agro-industrial Waste as Cellulose and Nanocellulose Source and Their Potentials in Food Applications," *Food Rev. Int.*, vol. 39, no. 2, pp. 663–688, 2023, doi: 10.1080/87559129.2021.1926478.
- B. P. Frank et al., "Biodegradation of Functionalized Nanocellulose," *Environ. Sci. Technol.*, vol. 55, no. 15, pp. 10744–10757, 2021, doi: 10.1021/acs.est.0c07253.
- C. Molina-Ramírez, C. Castro, R. Zuluaga, and P. Gañán, "Physical Characterization of Bacterial Cellulose Produced by *Komagataeibacter medellinensis* Using Food Supply Chain Waste and Agricultural By-Products as Alternative Low-Cost Feedstocks," *J. Polym. Environ.*, vol. 26, no. 2, pp. 830–837, 2018, doi: 10.1007/s10924-017-0993-6.
- C. Negro et al., "Nanocellulose and its potential use for sustainable industrial applications," *Lat. Am. Appl. Res.*, vol. 50, no. 2, pp. 59–64, 2020, doi: 10.52292/j.laar.2020.471.

- C. Salas, T. Nypelö, C. Rodriguez-Abreu, C. Carrillo, and O. J. Rojas, "Nanocellulose properties and applications in colloids and interfaces," *Curr. Opin. Colloid Interface Sci.*, vol. 19, no. 5, pp. 383–396, 2014, doi: 10.1016/j.cocis.2014.10.003.
- C. Zinge and B. Kandasubramanian, "Nanocellulose based biodegradable polymers," *Eur. Polym. J.*, vol. 133, no. May, p. 109758, 2020, doi: 10.1016/j.eurpolymj.2020.109758.
- D. L. VanderHart and R. H. Atalla, "Studies of Microstructure in Native Celluloses Using Solid-State ^{13}C NMR," *Macromolecules*, vol. 17, no. 8, pp. 1465–1472, 1984, doi: 10.1021/ma00138a009.
- D. Mundial, "Crecimiento demográfico en Colombia," *Datos demograficos mundiales*, 2022. <https://www.datosmundial.com/america/colombia/crecimiento-poblacional.php> (accessed Nov. 30, 2024).
- D. Pradhan, A. K. Jaiswal, and S. Jaiswal, "Emerging technologies for the production of nanocellulose from lignocellulosic biomass," *Carbohydr. Polym.*, vol. 285, no. January, p. 119258, 2022, doi: 10.1016/j.carbpol.2022.119258.
- D. Rodriguez, "Colombia genera 12 millones de toneladas de basura al año," *Portafolio*, 2022. <https://www.portafolio.co/economia/finanzas/colombia-genera-12-millones-de-toneladas-de-basura-al-ano-565581> (accessed May 08, 2023).
- D. Trache et al., *Nanocellulose: From Fundamentals to Advanced Applications*, vol. 8, no. May. 2020. doi: 10.3389/fchem.2020.00392.
- E. Aretoulaki, S. Ponis, G. Plakas, and K. Agalinos, "A Systematic Meta-Review Analysis of Review Papers in the Marine Plastic Pollution Literature," *Mar. Pollut. Bull.*, vol. 161, no. September, p. 111690, 2020, doi: 10.1016/j.marpolbul.2020.111690.
- E. Souza, L. Gottschalk, and O. Freitas-Silva, "Overview of Nanocellulose in Food Packaging," *Recent Pat. Food. Nutr. Agric.*, vol. 11, no. 2, pp. 154–167, 2019, doi: 10.2174/2212798410666190715153715.
- G. G. N. Thushari and J. D. M. Senevirathna, "Plastic pollution in the marine environment," *Heliyon*, vol. 6, no. 8, p. e04709, 2020, doi: 10.1016/j.heliyon.2020.e04709.
- H. Seddiqi et al., *Cellulose and its derivatives: towards biomedical applications*, vol. 28, no. 4. Springer Netherlands, 2021. doi: 10.1007/s10570-020-03674-w.
- I. D. Ibrahim et al., "Need for Sustainable Packaging: An Overview," *Polymers (Basel)*, vol. 14, no. 20, pp. 1–16, 2022, doi: 10.3390/polym14204430
- J. Cheng, R. Gao, Y. Zhu, and Q. Lin, "Applications of biodegradable materials in food packaging: A review," *Alexandria Eng. J.*, vol. 91, no. February, pp. 70–83, 2024, doi: 10.1016/j.aej.2024.01.080.

- K. Papageorgiou, S. Theochari, and K. Milioris, "Sustainable materials in the flexible packaging industry – an overview," *Polimery*, vol. 68, no. 6, pp. 317–322, 2023, doi: 10.14314/polimery.2023.6.2.
- K. Van De Velde and P. Kiekens, "Biopolymers: overview of several properties and consequences on their applications K.," *Polym. Test.*, vol. 21, no. 12, pp. 433–442, 2002, doi: [https://doi.org/10.1016/S0142-9418\(01\)00107-6](https://doi.org/10.1016/S0142-9418(01)00107-6).
- L. G. Nair, K. Agrawal, and P. Verma, "An overview of sustainable approaches for bioenergy production from agro-industrial wastes," *Energy Nexus*, vol. 6, no. March, p. 100086, 2022, doi: 10.1016/j.nexus.2022.100086.
- M. Börjesson and G. Westman, "Crystalline Nanocellulose — Preparation, Modification, and Properties," *Cellul. - Fundam. Asp. Curr. Trends*, no. August, 2015, doi: 10.5772/61899.
- M. Fathi, M. Karim, and N. Ahmadi, *Nanostructures of cellulose for encapsulation of food ingredients*. Elsevier Inc., 2019. doi: 10.1016/B978-0-12-815663-6.00017-3.
- M. K. K. Lee, "Plastic pollution mitigation – net plastic circularity through a standardized credit system in Asia," *Ocean Coast. Manag.*, vol. 210, no. December 2020, p. 105733, 2021, doi: 10.1016/j.ocecoaman.2021.105733.
- M. P. Menon and R. Selvakumar, "Derived From Biomass for Environmental," *R. Soc. Chem. Adv.*, pp. 42750–42773, 2017, doi: 10.1039/C7RA06713E.
- M. Stoica, V. Marian Antohi, M. Laura Zlati, and D. Stoica, "The financial impact of replacing plastic packaging by biodegradable biopolymers - A smart solution for the food industry," *J. Clean. Prod.*, vol. 277, p. 124013, 2020, doi: 10.1016/j.jclepro.2020.124013.
- M. U. Islam, M. W. Ullah, S. Khan, N. Shah, and J. K. Park, "Strategies for cost-effective and enhanced production of bacterial cellulose," *Int. J. Biol. Macromol.*, vol. 102, pp. 1166–1173, 2017, doi: 10.1016/j.ijbiomac.2017.04.110.
- N. Carter, I. Grant, M. Dewey, M. Bourque, and D. J. Neivandt, "Production and Characterization of Cellulose Nanofiber Slurries and Sheets for Biomedical Applications," *Front. Nanotechnol.*, vol. 3, no. December, pp. 1–11, 2021, doi: 10.3389/fnano.2021.729743.
- P. Li, X. Wang, M. Su, X. Zou, L. Duan, and H. Zhang, "Characteristics of Plastic Pollution in the Environment: A Review," *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, vol. 107, no. 4, pp. 577–584, 2021, doi: 10.1007/s00128-020-02820-1.
- P. Singhsa, R. Narain, and H. Manuspiya, "Physical structure variations of bacterial cellulose produced by different *Komagataeibacter xylinus* strains and carbon sources in static and

- agitated conditions,” *Cellulose*, vol. 25, no. 3, pp. 1571–1581, 2018, doi: 10.1007/s10570-018-1699-1.
- R. Das and J. G. Fernandez, “Cellulose Nanofibers for Encapsulation and Pluripotency Preservation in the Early Development of Embryonic Stem Cells,” *Biomacromolecules*, vol. 21, no. 12, pp. 4814–4822, 2020, doi: 10.1021/acs.biomac.0c01030.
- S. . Lee, H.V; Hamid, S.B.S and Zain, “Conversion of Lignocellulosic Biomass to Nanocellulose: Structure and Chemical Process,” *Sci. World J.*, vol. 1, pp. 1–20, 2014, doi: <http://dx.doi.org/10.1155/2014/631013>.
- S. D. Mejía, J. A. Sánchez, A. Soto-Ospina, W. Rojas, and L. A. Ríos-Osorio, “Study of the genetic variation of the D-galacturonate isomerase pathway and structural analysis of the enzyme UxaA (D-galacturonate dehydratase) for the transformation of pectin-rich agro-industrial residues to ethanol,” *Prod. y Limpia*, vol. 18, no. 2, pp. 78–102, 2023, doi: 10.22507/pml.v18n2a5.
- S. Mateo, S. Peinado, F. Morillas-Gutiérrez, M. D. La Rubia, and A. J. Moya, “Nanocellulose from agricultural wastes: Products and applications—a review,” *Processes*, vol. 9, no. 9, 2021, doi: 10.3390/pr9091594.
- S. S. Ahankari, A. R. Subhedar, S. S. Bhadauria, and A. Dufresne, “Nanocellulose in food packaging: A review,” *Carbohydr. Polym.*, vol. 255, p. 117479, 2021, doi: 10.1016/j.carbpol.2020.117479.
- Sostenibilidad-Banco BBVA, “Innovación sostenible en productos: así se fabrica un futuro más verde,” *Innovación tecnológica*, 2024. <https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/innovacion-en-productos-sostenibles-asi-se-fabrica-un-futuro-mas-verde/> (accessed Oct. 09, 2024).
- T. G. Volova, S. V. Prudnikova, A. G. Sukovatyi, and E. I. Shishatskaya, “Production and properties of bacterial cellulose by the strain *Komagataeibacter xylinus* B-12068,” *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, vol. 102, no. 17, pp. 7417–7428, 2018, doi: 10.1007/s00253-018-9198-8.
- W. Wang et al., “Effects of Cellulose Nanofibers Filling and Palmitic Acid Emulsions Coating on the Physical Properties of Fish Gelatin Films,” *Food Biophys.*, vol. 12, no. 1, pp. 23–32, 2017, doi: 10.1007/s11483-016-9459-y.
- X. Z. Tang, P. Kumar, S. Alavi, and K. P. Sandeep, “Recent Advances in Biopolymers and Biopolymer-Based Nanocomposites for Food Packaging Materials,” *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, vol. 52, no. 5, pp. 426–442, 2012, doi: 10.1080/10408398.2010.500508.

- Y. Li, S. Yu, P. Chen, R. Rojas, A. Hajian, and L. Berglund, "Cellulose nanofibers enable paraffin encapsulation and the formation of stable thermal regulation nanocomposites," *Nano Energy*, vol. 34, no. February, pp. 541–548, 2017, doi: 10.1016/j.nanoen.2017.03.010.
- Z. Zhou, Y. Li, and W. Zhou, "The progress of nanocellulose in types and preparation methods," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 2021, no. 1, 2021, doi: 10.1088/1742-6596/2021/1/012042.