

Tech Note: Technologies for obtaining bioplastics from different raw materials

Anniarys Ramírez^[1], Jiraleiska Hernández^[1], Samuel Villanueva^{[2]*}

^[1]Gerencia de Proyectos de Investigación, Desarrollo e innovación,

^[2]Dirección Técnica,

Centro Nacional de Tecnología Química, Caracas, Venezuela

Abstract

Bioplastics are materials that possess the functional properties of plastics, in terms of hardness, resistance, lightness, durability, ability to be thermal and electrical insulators, among others. They are produced, mostly, from natural and/or renewable sources and can even be biodegraded and/or composted. They arise mainly as a necessity due to the resistance to natural degradation that plastics from petrochemical sources have, causing increasing environmental pollution that affects both terrestrial and maritime ecosystems. In this sense, the objective of this study is to identify and describe the production processes of bioplastics from different raw materials, perform a bibliometric and patented analysis of scientific articles and patents obtained in the PatentInspiration, The Lens, ScienceDirect and PubAg platforms. The results obtained left identify the technological trends are not focused on obtaining biopolymers, but on the manufacture of bioplastics from synthesized biopolymers, mainly due to the costs of raw material costs that require the production of the material. As noted, the countries that are at the forefront of registration and patent applications for the study period (2009 - june 2019) are the emerging nations, China and India. This behavior is not maintained for scientific publications.

Keywords: bioplastics; biodegradable plastics; PLA; starch; PHAs; new materiales.

Nota Técnica: Tecnologías para la obtención de bioplásticos a partir de diferentes materias primas

Resumen

Los bioplásticos son materiales que poseen las propiedades funcionales de los plásticos, en cuanto a dureza, resistencia, ligereza, durabilidad, capacidad de ser aislantes térmicos y eléctricos, entre otros. Son producidos, a partir, de fuentes naturales y/o renovables e incluso pueden ser biodegradados y/o compostados. Surgen principalmente como una necesidad, dada la resistencia a la degradación natural que tienen los plásticos provenientes de fuentes petroquímicas, ocasionando una creciente contaminación ambiental, que afecta tanto los ecosistemas terrestres como marítimos. En este sentido, el objetivo de este estudio es identificar y describir los procesos de producción de bioplásticos a partir de diferentes materias primas, realizando un análisis bibliométrico y patentométrico de artículos científicos y patentes obtenidas en las plataformas PatentInspiration, The Lens, ScienceDirect y PubAg. Los resultados obtenidos permitieron identificar que las tendencias tecnológicas no se centran en la obtención de biopolímeros, sino en la manufactura de los bioplásticos a partir de los biopolímeros sintetizados. De acuerdo a lo observado, los países que se encuentran en la vanguardia de registro y solicitudes de patentes para el lapso de estudio (2009 - junio 2019) son las naciones emergentes, China e India. Este comportamiento no se mantiene para las publicaciones científicas.

Palabras clave: bioplásticos; plásticos biodegradables; PLA; almidón; PHAs; nuevos materiales.

Recibido: octubre 2019;

Aceptado: diciembre 2019.

Autor para correspondencia: S. Villanueva e-mail: publicacionesgpidi.cntq@gmail.com

1. Introducción

Plásticos es el término dado a un grupo de materiales compuestos por polímeros capaces de ser moldeables; son obtenidos principalmente de fuentes petroquímicas y cuentan con una gran variedad de aplicaciones gracias a sus diferentes propiedades, tales como, la dureza, resistencia, ligereza, durabilidad, además de ser eficaces como aislantes térmicos y eléctricos [1]. Debido a la expansión de sus usos y aplicaciones, además de sus bajos costos de producción, en los últimos 60 años, su manufactura ha aumentado de manera exponencial, de tal forma que para el año 2017, la producción mundial de plástico alcanzaba los 350 millones de toneladas [2]. Sin embargo, casi la mitad de lo producido es usado sólo una vez [3], pasando rápidamente a ser considerado como residuos, lo que ocasiona serios problemas ambientales en ecosistemas marítimos y terrestres [4]. La preocupación por la excesiva acumulación del plástico y su impacto ambiental ha propiciado el desarrollo de nuevas investigaciones orientadas a la producción de plásticos menos invasivos con la naturaleza, dando origen a los bioplásticos [5].

Los bioplásticos son materiales que poseen, en su mayoría, las propiedades funcionales de los plásticos derivados de la industria petroquímica, pero producidos a partir de fuentes renovables e incluso pueden llegar a ser biodegradados y/o compostados [6]. La biodegradación es un proceso llevado a cabo por acción enzimática y/o deterioro químico ocasionado por microorganismos, hongos, bacterias y algas. El proceso se desarrolla en dos grandes pasos, en el primer paso ocurre la degradación polimérica, es decir, la división de polímeros en fragmentos de menor masa molecular mediante diferentes reacciones como la oxidación, fotodegradación, degradación enzimática y la hidrólisis; en el segundo paso, se desarrolla la bioasimilación por los microorganismos del entorno y su mineralización [5]. Por otro lado, se tiene la compostabilidad, una forma particular de biodegradación, en donde los materiales implicados se degradan por actividad biológica, y el material resultante puede utilizarse como mejorador de suelos por su contenido de nutrientes. Esta cualidad ha permitido que los bioplásticos resalten como una solución potencial para evitar la acumulación de

basura plástica y sus residuos.

Tabla 1: Principales biopolímeros y sus métodos de obtención

Métodos actuales para la obtención de biopolímeros	Biopolímeros
Polímeros naturales modificados de material vegetal	Almidón, derivados del almidón; celulosa, derivados de la celulosa; lignina.
Polímeros generados directamente por microorganismos o plantas	Polihidroxialcanoatos, tales como polihidroxibutirato y copolímeros (PHB/PHA); ácido poliláctico (PLA).
Polímeros a partir de monómeros obtenidos por fermentación	Ácido poliláctico (PLA), Tereftalato de polipropileno (PPT), Polietileno (PE) y otros derivados de etileno.

Fuente: Tomado y modificado de Iles y Martin [7].

Los bioplásticos son fabricados a partir de la polimerización de una molécula básica, como el ácido láctico para obtener ácido poliláctico (PLA), por vía fermentativa o mediante el uso de microorganismos. Otros biopolímeros y sus métodos de obtención son mostrados en la Tabla 1. El objetivo del presente estudio permite identificar y describir los procesos de manufactura y las tecnologías más recientes en la producción de bioplásticos, así como la materia prima empleada en el proceso. La información empleada, fue extraída de documentos de patentes y publicaciones científicas para el período comprendido desde el año 2009 al mes de junio de 2019.

2. Metodología

El desarrollo de la presente nota técnica se realizó a partir de la información técnica extraída de bases de datos de publicaciones científicas, así como, documentos de patentes.

La estrategia de búsqueda planteada se elaboró a partir de los términos comunes en bioplásticos, identificados mediante el uso de la herramienta de términos relacionados de diferentes buscadores. La

Tabla 2: Estrategia de búsqueda

Ecuación de búsqueda	Plataforma	Filtros
((bioplastic OR “biodegradable plastic” OR “bio-plastic” OR “biodegradable starch” OR “biodegradable polylactic acid” OR “compostable plastic”) AND (synthesis OR “preparation method” OR production))	ScienceDirect PubAg PatentInspiration TheLens	Publicación 01/01/2009 al 01/06/2019 Artículos de investigación y Artículos de revisión. Una sola patente por familia

Tabla 2 presenta la ecuación de búsqueda empleada para identificar publicaciones y documentos de patentes referentes a la producción de bioplásticos. La búsqueda se realizó en el título de las publicaciones científicas y documentos de patentes en un lapso de diez años (enero de 2009 hasta junio 2019). Para el caso de las patentes se considera un documento por familia.

3. Resultados y discusión.

Tabla 3: Resultados obtenidos

Plataforma	Número de publicaciones o Número de patentes
ScienceDirect	32
PubAg	36
PatentInspiration	201
TheLens	65

La búsqueda arrojó un universo de 68 publicaciones científicas y 266 patentes, como se evidencia en la Tabla 3, donde se observaron los principales métodos para la preparación de biopolímeros descritos en la Tabla 1, los cuales representan la base para la producción de bioplásticos. A continuación se presentan las publicaciones y patentes más resaltantes con respecto a los tres biopolímeros con mayor desarrollo tecnológico.

Polihidroxialcanoatos (PHA)

■ Publicaciones científicas

Los PHA son poliésteres producidos como reserva alimenticia por microorganismos, almacenados

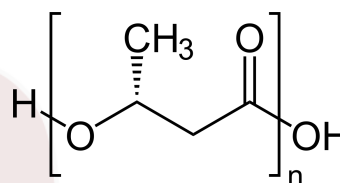


Figura 1: Polihidroxialcanoatos.

como gránulos en el citoplasma celular, bajo condiciones de estrés causadas por exceso de carbono y nutrientes limitados. Estos compuestos han adquirido interés comercial debido a que son los biopolímeros usados en la producción de bioplásticos, con aplicaciones que van desde materiales de embalaje biodegradables hasta productos médicos [8]. La Figura 1 muestra la estructura de los polihidroxialcanoatos.

Tradicionalmente, la producción de PHA empleaba fuentes de carbono como materia prima, derivados de cultivos alimentarios, caña de azúcar y aceites vegetales. Sin embargo, su producción es de 5 a 10 veces más costosa si se compara con la producción de plástico convencional, incentivando la búsqueda de materias primas alternativas para su producción [9].

Khardenavis, A. *et al.* [10] realizaron un estudio donde se aprovecha la melaza gastada como un sustrato de bajo costo para la producción de polihidroxibutirato (PHB) con residuos de lodos activados. Se usó microscopía de fluorescencia para revelar la presencia de gránulos de PHB en la biomasa de lodos, el cual fue confirmado por espectroscopia de infrarrojo de transformada de Fourier (FT-IR) y resonancia magnética nuclear carbono 13 (^{13}C RMN). El procesamiento de lavado de melaza gastada se llevó a cabo para lograr

diferentes proporciones de carbono y nitrógeno (C:N). La disminución de la demanda química de oxígeno (DQO) y la acumulación de PHB fue de 60 % y 31 %, respectivamente, esto se logró mediante el lavado con melaza sin procesar que contiene nitrógeno inorgánico. El proceso proporcionó el beneficio de transformar dos residuos, los residuos de lodos activados y melaza gastada, en un producto de valor agregado como lo es el PHB.

Tripathi, A. *et al.* [11] utilizaron residuos de la refinería de azúcar (melaza de caña) como materia prima para la producción de uno de los PHA principales, el poli-3-hidroxibutirato (PHB), por la bacteria del suelo *Pseudomonas aeruginosa*, mediante proceso de fermentación sumergida, empleando urea como fuente de nitrógeno. Encontraron que las condiciones óptimas de operación para la producción máxima de PHB fue de melaza de caña 40 g/L, urea 0,8 g/L, a temperatura de 36 °C, empleando un pH 7,0, velocidad de agitación 175 rpm y un tiempo de fermentación de 54 h. La optimización de este proceso mejoró la producción de PHB en *Pseudomonas aeruginosa* en cultivo con lotes, en un fermentador de 7,5 L. El cultivo de lote repetido con melaza de caña al 4,0 % y urea al 0,8 %, arrojó un rendimiento de PHB de 0,70 (g/masa celular) con una productividad de 0,12 g/L por hora. Finalmente, el PHB fue caracterizado con el uso de un espectrómetro de infrarrojo (IR) con transformada de Fourier. Por último, concluyeron que la melaza de caña mejoró la biomasa y la producción de PHB, siendo una fuente efectiva de carbohidratos.

Más tarde, en el 2018, Al-Battashi, H. *et al.* [12] utilizaron residuos de papel para producir también, PHB. Los residuos de papel fueron descompuestos por hidrólisis enzimática a sus constituyentes principales, celulosa y hemicelulosa. El papel hidrolizado se usó como fuente de carbono para la cepa microbiana elegida, *Burkholderia sacchari*, dado que la misma tenía reportada una alta acumulación de PHB, además las condiciones de producción fueron optimizadas (fuente de nitrógeno, relación C/N y concentración de residuos de papel). Después de 48 horas se obtuvo una biomasa de 3,63 g/L y se concluyó que el sulfato de amonio y la relación C:N de 20 fueron las mejores condiciones para la mayor acumulación de PHB en un 44,2 % y la utilización

máxima de azúcar reductora fue de 92,1 %. Las propiedades fisicoquímicas del PHB extraído fueron compatibles con el PHB estándar, por lo que los residuos de papel podrían ser aprovechados como una materia prima renovable para el desarrollo sostenible.

■ Patentes revisadas

Para el año 2013, fue publicada la patente WO2013072541A1, desarrollada por Fernández, I. *et al.* [13] donde se describe el diseño y procedimiento para la producción de polihidroxialcanoatos (PHAs), en *Pseudomonas putida* a partir de glicerol. Para tal fin, se construyó una cepa mutante derivada de la bacteria mencionada, portadora de una mutación en el cromosoma del gen *glpR*, lo que permite que pueda utilizar el glicerol como fuente de carbono y energía de una manera más eficiente, mejorando la producción de biomasa y de sustancias a partir de glicerol, en especial los gránulos de PHA, reduciendo a la mitad el tiempo de producción.

En el 2014, fue publicada la patente US2013344550A1 realizada por Miller *et al.* [14] en la que desarrollaron un método para producir bioplásticos de PHB a partir de algas. El método incluye el procesamiento de algas para producir una fase acuosa que contiene glicerol y la fermentación de la misma con una bacteria productora de bioplásticos, *Escherichia coli*. El procesamiento de las algas comprende, hidrolizar una suspensión de algas y agua al agregar un agente hidrolizante ácido para producir una suspensión ácida. A esta suspensión, se le agrega un agente de hidrólisis básico para obtener una suspensión básica, y se separa la fase acuosa de la biomasa.

Almidón

El almidón, otro polímero de origen natural que se encuentra en diferentes alimentos como la papa, yuca, maíz, trigo, entre otros vegetales; constituye una fuente de interés para la producción de bioplásticos. Químicamente es un polisacárido que consta de dos polímeros, la amilosa y la amilopectina; estructura que es mostrada en la Figura 2. La amilosa le da un comportamiento parecido a los polímeros sintéticos comunes, debido a su estructura lineal, sin embargo, contiene muchos

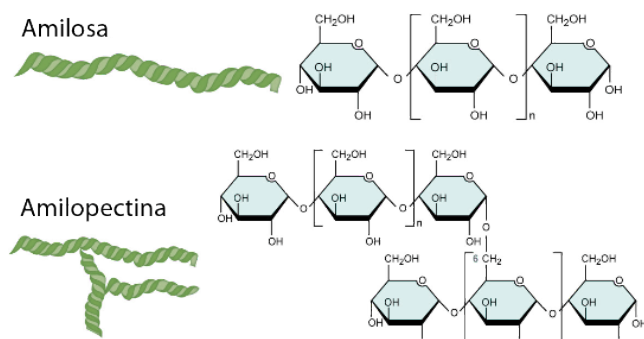


Figura 2: Estructura de la amilosa y amilopectina que forman el almidón

Fuente: www.almidon.com

grupos hidroxilos, lo que le imparte afinidad con el agua [15]. Por otro lado, la amilopectina tiene una estructura ramificada, lo que reduce la movilidad de la cadena polimérica. De lo dicho anteriormente, el almidón presenta algunas limitaciones por su estructura química, como las bajas propiedades mecánicas y el carácter hidrofílico, por lo que se ha hecho necesario el desarrollo de nuevas metodologías para su modificación química, la asociación con otros polímeros hidrofílicos y la transformación parcial de sus productos finales [16].

■ Publicaciones científicas

En el 2011, Brandelero, R. *et al.* [17] sintetizaron películas biodegradables de almidón de yuca proveniente de Indemil, Brasil, utilizando glicerol como plastificante para disminuir la rigidez. A esta mezcla se le agregó otro polímero biodegradable, el poli(adipato-tereftalato de polibutileno) (PBAT), debido a la fragilidad de las películas de almidón y glicerol. Estas películas pueden producirse mediante extrusión por soplado, proceso mecánico industrial en donde se moldea el plástico, haciéndolo pasar por flujo continuo con presión y empuje, a través de un molde para darle la forma requerida. Se emplearon dos métodos de obtención, uno que consiste en la mezcla mediante extrusión de pellets de almidón termoplástico (almidón + glicerol) previamente producidos, con pellets de PBAT (se le asigna la nomenclatura de M1); y otro, en el que se mezclaron mediante el mismo proceso, directamente los gránulos de almidón con PBAT

y pellets de glicerol (M2 nomenclatura asignada), reduciendo el costo de procesamiento. Los investigadores evaluaron el efecto de las mezclas obtenidas con ambos métodos, sobre la barrera mecánica, estructural y microestructural al vapor de agua de películas biodegradables producidas mediante extrusión por soplado, obteniendo un resultado óptimo con el método M1, donde se alcanzaron mejores propiedades mecánicas cuando la concentración de PBAT era igual al 50 %. Al aumentar la concentración de almidón (> 50 %), las mezclas se pueden preparar con el método M2 (gránulos de almidón), en una única fase de extrusión sin pérdida de propiedades mecánicas, lo que puede resultar en un menor costo de producción.

Luego en el 2014, Priya, B. *et al.* [18] sintetizaron películas compuestas para el empaquetado de alimentos, mezclando almidón de maíz con alcohol de polivinilo (PVA), un polímero sintético biodegradable. Utilizaron como agente plastificante, ácido cítrico por su estructura multicarboxílica, lo que permite la interacción con los grupos hidroxilos del almidón, creándole una mayor resistencia al agua y como agente reticulante al glutaraldehído. Adicionalmente, se reforzó la mezcla con fibra celulósica de la planta *Grewia optiva*. Por otro lado, estudiaron el efecto del ácido cítrico y el glutaraldehído en las propiedades mecánicas y el grado de hinchamiento. Se encontró que la composición óptima para alcanzar mejores resultados en cuanto propiedades mecánicas era la siguiente, ácido cítrico al 25 % en peso, glutaraldehído al 0,100 % en peso y fibra reforzada almidón/PVA (5:5) al 20 % en peso. Las películas de mezcla fueron caracterizadas utilizando espectrofotometría infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR), microscopía electrónica de barrido (SEM) y análisis termogravimétrico (TGA/DTA/DTG). La microscopía electrónica de barrido evidenció una buena adhesión entre la mezcla de almidón/PVA y las fibras. Las películas de mezcla también se exploraron para detectar actividades antimicrobianas contra bacterias patógenas como *Staphylococcus aureus* y *Escherichia coli*. Los resultados confirmaron que las películas compuestas pueden utilizarse como material óptimo para el envasado de alimentos.

■ Patentes revisadas

En el 2017, Haiqing, M. *et al* [19] patentaron (CN106916372A) el método de preparación de un bioplástico degradable a base de almidón, el proceso se inicia al introducir un material almidonado de alta hidrofobicidad, ácido carboxílico alifático, un agente nucleante, un modificador, un promotor de oxidación y similares, un material con alto contenido de polímeros y otros materiales auxiliares en un mezclador. Posteriormente, la mezcla es introducida en una extrusora de doble tornillo para llevar a cabo el proceso de la mezcla, plastificación y granulación. Mediante el moldeo por soplado y el moldeo por vacío se obtiene bioplástico degradable a base de almidón o una película de este. El material obtenido está libre de toxicidad y es aplicable a películas agrícolas, materiales de envasado de alimentos, productos de plástico desechables para la vida diaria, entre otros.

Recientemente, en enero de 2019, Ting, L. *et al.* [20] registraron una patente (CN109280130A), que describe un método de preparación de un polímero de injerto de almidón, a partir de una reacción de polimerización de apertura de anillo de radical libre de un almidón modificado, un disolvente, un iniciador y un monómero de injerto. La proporción de mezcla de los componentes fue, en peso, 10 partes de almidón modificado, 10–150 partes del solvente, 0.01–1 parte del iniciador y 1–100 partes del monómero de injerto. El compuesto modificado fue un almidón esterificado que contiene dobles enlaces, preparado de la siguiente manera, agregaron gota a gota un catalizador a un almidón natural o a una suspensión de almidón, preparada por la agregación de un solvente a la materia prima, luego colocaron bajo agitación durante 0,5 a 3 horas a una temperatura entre 10–60°C; se agregó gota a gota un modificador, se dejó en agitación. Se realizó un lavado con etanol anhidro, sometiéndolo finalmente a filtración y secado. El polímero de injerto de almidón obtenido puede ser completamente biodegradable.

Ácido poliláctico (PLA)

El ácido poliláctico es un material versátil que reúne entre sus propiedades la biodegradabilidad, capacidad de ser renovable, mayor hidrofobicidad,



Figura 3: Ácido poliláctico en resinas.

resistencia a la tracción y rigidez, convirtiéndolo en un biopolímero atractivo para obtener bioplásticos (ver Figura 3). Puede producirse mediante fermentación o a través de microorganismos, como lo muestra la Tabla 2.

■ Publicaciones científicas

Entre las publicaciones más recientes (2019), Kasi-
rajan, S. *et al.* [21] produjeron ácido láctico utilizando la bacteria *Lactobacillus delbrueckii* MTCC 911 con *Prosopis juliflora* como sustrato para la fermentación. Como resultado, se produjeron 38,23 g/L de ácido láctico. Se siguió la polimerización de apertura de anillo modificada con el método de policondensación directa para convertir el ácido láctico en ácido poliláctico. Prepararon una membrana de PLA con quitosano, de 0,25 mm de espesor, compuesta 60/40 respectivamente, la cual mostró mejores resultados con una resistencia a la tracción de 17,809 MPa y un alargamiento a la rotura 300,11 %. Los resultados de la tasa de transmisión de oxígeno muestran una baja permeabilidad de 1614,21 (cm³/(m²·día·atm)). La membrana de PLA/quitosano compatible, producida por fundición con solvente, muestra buena estabilidad térmica, menor permeabilidad al oxígeno y un aumento de las propiedades mecánicas al ser analizados por espectroscopia infrarroja de transformada de Fourier, termogravimetría/termogravimetría derivada, microscopia electrónica de barrido y cromatografía líquida de alto rendimiento (HPLC).

■ Patentes revisadas

En el 2010, Omoto, F. *et al.* [22] registraron una patente (WO2010/055874A1) que describe un método para producir ácido poliláctico y obtener un producto de calidad uniforme en menor tiempo. Utilizaron una materia prima de origen vegetal y la sellaron herméticamente en un tanque de fermentación primario con ácido láctico. El producto fermentado se separa en una fracción líquida y sólida mediante una técnica de separación convencional. La fracción líquida se coloca en un tanque de fermentación secundaria para ser nuevamente fermentada. Las fracciones sólida y líquida resultante de la segunda fermentación son separadas mediante la misma técnica. El ácido láctico producido, se extrae mediante un deshumidificador, evaporando agua de la fracción líquida del segundo producto de fermentación. Finalmente, se obtiene ácido poliláctico, calentando y polimerizando el ácido láctico extraído por medio de la deshumidificación.

Es importante mencionar que desde la perspectiva de las patentes, no es un punto de enfoque la síntesis de PLA, sino el desarrollo de métodos para preparar materiales bioplásticos utilizándolo como materia prima principal. De este tipo de innovaciones, se encuentra la de Ming, C. *et al.* [23], quienes registraron una patente en el 2016 (CN106221157A), donde los investigadores utilizan una película de ácido poliláctico, empleando como materias primas: 65 a 90 partes de ácido poliláctico, 8 a 15 partes de carbonato de polibutylenglicol, 10 a 25 partes de polietileno, 25 a 32 partes de almidón, 3 a 8 partes de estearato de zinc (el cual es un acelerador de la degradación oxidativa térmica), de 6 a 12 partes de óxido de magnesio, 5 a 10 partes de polvo de vermiculita y 6 a 15 partes de caolín como bioactivadores, 2 a 6 partes de plastificantes y 1 a 5 partes de fosfito. Esta composición logra que la fotodegradación se lleve a cabo bajo condiciones de radiación, además de degradación térmica adicional, utilizando el compost acumulado en el interior. Se agrega óxido de magnesio para mejorar la resistencia y la tenacidad de la película, así como, fosfito para mejorar el rendimiento de aislamiento térmico.

Siguiendo la línea de preparación de películas de PLA, Huiliang, Z. *et al.* [24] patentaron un método de preparación (CN108822514A) de una película delgada de PLA mediante moldeo por soplado.

La preparación se llevó a cabo con los siguientes compuestos: PLA, PBSA (poli (butileno-succinato-co-adipato)), PBC (carbonato de polipropileno), un plastificante, un lubricante y un agente formador de poros. Se mezclaron mecánicamente las especies PLA, PBSA, PBC, con el lubricante y el agente formador de poros. La mezcla se introduce a una tolva de una extrusora de doble tornillo, dosificando el plastificante mediante una bomba dosificadora y agregándolo a través de un puerto de adición de líquido a la extrusora. Luego la carga sólida y la carga líquida es fundida, extruida y granulada, para así obtener el material de resina PLA. Por último se realizó un moldeo por soplado para la formación de una película delgada. Esta película se puede usar para reemplazar PE (polietileno), PP (polipropileno), PVC (cloruro de polivinilo) y similares para preparar películas y láminas delgadas.

Si bien es importante resaltar al PLA, el almidón y los polihidroxialcanoatos como los principales materias primas para la producción de bioplásticos, también se debe mencionar algunos de otros biopolímeros y sus mezclas, las cuales logran aumentar eficiencia y aplicaciones. En la patente CN106118076A publicada en el 2016 por Jing, Z. *et al.* [25] se preparó un bioplástico utilizando pelo de vaca y algunas otras partes del animal. Mezclaron el sobrenadante obtenido de la separación del jugo gástrico de la vaca y el pelo de vaca tratado con hidróxido de sodio. La mezcla fue sometida a enzimólisis, decoloración, calentamiento y luego mezclada con almidón. Adicionalmente se le inoculó *Escherichia coli*, se irradió con rayos alfa y se calentó, añadiendo citrato de tributilo y ácido L-láctico. Posteriormente, la mezcla es sometida a una reacción de calentamiento bajo atmósfera de nitrógeno. Finalmente, se realizó la granulación y extrusión plástica. El bioplástico a base de pelo de vaca, es resistente a altas temperaturas y su deformación térmica ocurre hasta los 120°C.

En el 2017, se publica la invención CN107057247A, registrada por Qing, Z. *et al.* [26], donde prepararon un bioplástico a base de cianobacterias, a partir de las siguientes composiciones en peso: 0,01-80 partes de polvo de cianobacterias, 0,025-1600 partes de agua, 5-35 partes de un plastificante, 0,001-50 partes de

un modificador, 0–40 partes de un flexibilizador, 20–99,9 partes de alcohol polivinílico y 0,00025–40 partes de un agente de acoplamiento. El bioplástico obtenido es totalmentegradable, el proceso es simple y de bajo costo, adecuado para algas puras y cianobacterias mixtas.

Más reciente, en el presente año 2019, se encontraron dos invenciones, la primera corresponde a Qing, C. *et al.* [27] y se encuentra identificada bajo el código CN109370183A. Trata sobre la preparación de un bioplástico degradable en agua marina. La preparación consiste en mezclar por fusión una microesfera de sal soluble con compuestos de almidón modificado y plásticos biodegradables, luego extruir, para obtener el plástico biodegradable por agua de mar. Según la invención, el bioplástico obtenido inmerso en el agua de mar, absorbe la misma cantidad de líquido para hinchar el almidón y disolver la sal soluble, de modo que el material del bioplástico se puede dividir rápidamente en nanopartículas, acelerando su degradación.

La segunda invención del presente año (CN109228085A) fue realizada por Jiajia, S. *et al.* [28], quienes prepararon un bioplástico mediante la disolución de gelatina comestible en agua a temperatura normal, luego se dejó reposar para que la gelatina absorbiera suficiente agua, formando una primera mezcla; al calentar esta mezcla, se le agregó jarabe y se agitó continuamente hasta hervir. Posteriormente, se agregó una pequeña cantidad de cera de abejas, se agitó hasta fundir en una segunda mezcla líquida; se agregó esencia a la mezcla, luego se filtra, a fin de eliminar las impurezas mediante tamizado para obtener una tercera mezcla, la cual se vertió en un molde, agitando uniformemente para adherir el líquido a la pared interna del mismo hasta su congelación, obteniendo el nuevo bioplástico. El material obtenido tiene la misma dureza que el plástico con el mismo grosor y se puede degradar rápidamente.

4. Conclusiones

La revisión llevada muestra una amplia gama de materias primas para la producción de bioplásticos que van desde residuos de papel hasta gelatina comestible. Por otro lado, es importante resaltar

que los países que se encuentran en la vanguardia en I+D+i en los últimos 10 años son las naciones emergentes, China e India. La búsqueda y tratamiento de los documentos de patentes permitió identificar que las tendencias tecnológicas no se centran en la obtención de biopolímeros, sino en la manufactura de los bioplásticos a partir de los biopolímeros sintetizados, debido principalmente a los elevados costos de materia prima que requiere la producción de este material.

Asimismo, es importante destacar los avances científicos en los métodos de preparación de mezclas de biopolímeros para la producción de plásticos biodegradables, como proceso que permite reforzar y mejorar las propiedades químicas del material obtenido, por ejemplo, el almidón, dentro de las mezclas de biopolímeros, tiene un papel protagónico debido a su bajo costo y renovabilidad, pero al ser utilizado en solitario como materia prima, es un material muy débil en comparación con la mezcla con PVA (alcohol polivinílico) o fibras celulósicas, donde se obtiene un material bioplástico mucho más resistente, utilizado como material de empaquetado, por ser uno de los plásticos fácilmente desechable.

Por otro lado, se observó una ligera disminución de las publicaciones científicas entorno a la temática de estudio desde el año 2018, según la cantidad de resultados obtenidos a partir de la ecuación de búsqueda utilizada en la investigación realizada. Finalmente debería fundamentarse la producción de los bioplásticos, en un futuro cercano, en el aprovechamiento de microorganismos y residuos industriales, de manera de no intervenir la seguridad alimentaria que genera la extracción de materias primas vegetales, por ejemplo, el almidón. Se recomienda seguir los procesos de obtención innovadores que surgen de los PHAs, principalmente los que utilizan residuos como fuente de carbono para suministrar alimentación a los microorganismos que producen los gránulos de PHAs.

Referencias

- [1] R. C. Thompson, S. H. Swan, C. J. Moore, and F. S. Vom Saal. Our plastic age. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1526):1973–1976, 2009.

- [2] Plastics Europe, Brussels. *Plastics – the Fact 2018*, 2019.
- [3] J. Hopewell, R. Dvorak, and E. Kosior. Plastics recycling: Challenges and opportunities. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1526):2115–2126, 2009.
- [4] G.-Q. Chen and M. K. Patel. Plastics derived from biological sources: Present and future: A technical and environmental review. *Chemical Reviews*, 112(4):2082–2099, 2013.
- [5] I. E. Napper and R. C. Thompson. Environmental deterioration of biodegradable, oxo-biodegradable, compostable, and conventional plastic carrier bags in the sea, soil, and open-air over a 3-year period. *Environmental Science and Technology*, 53(9):4775–4783, 2019.
- [6] J.A. Schrader, K.G. McCabe, G. Srinivasan, K. Haubrich, D. Grewell, S. Madbouly, and W.R. Graves. Development and evaluation of bioplastic containers for sustainable greenhouse and nursery production. *Acta Horticulturae*, 1104:79–88, 2015.
- [7] A. Iles and A. N. Martin. Expanding bioplastics production: Sustainable business innovation in the chemical industry. *Journal of Cleaner Production*, 45:38–49, 2013.
- [8] K. Amulya, M. V. Reddy, M. V. Rohit, and S. V. Mohan. Wastewater as renewable feedstock for bioplastics production: Understanding the role of reactor microenvironment and system pH. *Journal of Cleaner Production*, 112:4618–4627, 2016.
- [9] C. Kasemsap and C. Wantawin. Batch production of polyhydroxyalkanoate by low-polyphosphate-content activated sludge at varying pH. *Bioresource Technology*, 98(5):1020–1027, 2007.
- [10] A. A. Khardenavis, A. N. Vaidya, M. S. Kumar, and T. Chakrabarti. Utilization of molasses spentwash for production of bioplastics by waste activated sludge. *Waste Management*, 29(9):2558–2565, 2009.
- [11] A. D. Tripathi, A. Yadav, A. Jha, and S. K. Srivastava. Utilizing of sugar refinery waste (cane molasses) for production of bioplastic under submerged fermentation process. *Journal of Polymers and the Environment*, 20(2):446–453, 2012.
- [12] H. Al-Battashi, N. Annamalai, S. Al-Kindi, A. Sadasivan, S. Al-Bahry, J. Prakash, and N. Sivakumar. Production of bioplastic (poly-3-hydroxybutyrate) using waste paper as a feedstock: Optimization of enzymatic hydrolysis and fermentation employing burkholderia sacchari. *Journal of Cleaner Production*, 2014:236–247, 2019.
- [13] I. Fernández, C. Del Cerro, J. L. García, and M. Prieto. WO2013072541A1. System for improving the production of polyhydroxyalkanoates (bioplastic) by fermentation from glycerol using a genetically modified strain of pseudomonas putida. Patente, 2013.
- [14] C. Miller, A. Rahman, R. Sims, A. Sathish, and A. Renil. US20130344550A1, Methods of bioplastic production. Patente, 2013.
- [15] W. Zou, X. Liu, L. Yu, D. Qiao, L. Chen, Liu H, and N. Zhang. Synthesis and characterization of biodegradable starch-polyacrylamide graft copolymers using starches with different microstructures. *Journal of Polymers and the Environment*, 21(2):352–365, 2013.
- [16] A. R. Ceron. The hydrophilicity problem of starch based plastic materials. *Bioteconología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 11(2):41–48, 2013.
- [17] R. P. H. Brandelero, M. V. E. Grossmann, and F. Yamashita. Effect of the method of production of the blends on mechanical and structural properties of biodegradable starch films produced by blown extrusion. *Carbohydrate Polymers*, 86(3):1344–1350, 2011.
- [18] B. Priya, V. K. Gupta, D. Pathania, and A. S. Singha. Synthesis, characterization and antibacterial activity of biodegradable starch/pva composite films reinforced with cellulosic fibre. *Carbohydrate Polymers*, 109:171–179, 2014.

- [19] M. Haiqing, L. Gang, and H. Lin. CN106916372A. Starch-based degradable bioplastic and preparation method thereof. Patente, 2017.
- [20] L. Ting, D. Weifu, and H. Qiong'en. CN109280130A. A kind of starch graft copolymers of fully biodegradable and preparation method thereof. Patente, 2019.
- [21] S. Kasirajan, D. Umapathy, C. Chandrasekar, V. Aafrin, M. Jenitapeter, L. Udhyasooriyan, A. Saravana, B. Packirisamy, and S. Muthusamy. Preparation of poly(lactic acid) from prosopis juliflora and incorporation of chitosan for packaging applications. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 125(3):323–331, 2019.
- [22] F. Omoto and T. Katsuhisa. WO2010055874A1. Method for producing polylactic acid, apparatus for producing polylactic acid, method for producing biodegradable plastic and apparatus for producing biodegradable plastic. Patente, 2010.
- [23] C. Ming, C. Minxi, and H. Liugen. CN106221157A. Biodegradable polylactic acid film and preparation method thereof. Patente, 2016.
- [24] Z. Huiliang, Y. Jia, P. Hongwei, Y. Huili, and Z. Guibao. CN108822514A. Completely-biodegradable polylactic acid-based blow molding thin film and preparation method thereof. Patente, 2018.
- [25] Z. Jing, X. Peilong, and S. Qi. CN106118076A. Preparation method of cow-hair-based bioplastic. Patente, 2016.
- [26] Z. Qing, H. Shiqun, C. Yajun, and W. Tao. CN107057247A. Full-degradable cyanobacteria-based bioplastic and preparation method thereof. Patente, 2017.
- [27] C. Qing and J. Zeng. CN109370183A. Bioplastic special for seawater degradation and preparation method thereof. Patente, 2019.
- [28] S. Jiajia, L. Cuiqin, and H. Chuqio. CN109228085A. Novel bioplastic and preparation method thereof. Patente, 2019.