

Obtención de un biopolímero a base de almidón de papa para productos de un solo uso

Pedro Rodríguez S.¹

María Isabel Arévalo R.²

Daniela Alejandra Victoria T.³



Artículo de investigación

Fecha de recepción: 8 de septiembre del 2021 ■ **Fecha de aceptación:** 20 de diciembre del 2021

Rodríguez P., Arévalo, M. I. y Victoria, D. A. (2022). Obtención de un biopolímero a base de almidón de papa para productos de un solo uso. *Revista de Investigaciones de Unigraria*, 10(1). 32-43.

Resumen

El uso de los materiales termoplásticos, especialmente los empleados en la fabricación de productos de un solo uso, ha incrementado los problemas ambientales que ocasiona la no degradación de materiales poliméricos como el polietileno de baja densidad (PEBD). Con el fin de aportar a la propuesta del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible para lograr que el 100 % de los plásticos de un solo uso puestos en el mercado sean reutilizables, reciclables o compostables (degradados biológicamente por organismos) al año 2030, se realiza la obtención de un material polimérico compuesto por 75 % de polímero sintético de uso tradicional y 15 % de un polímero natural, en este caso almidón extraído de la papa. El proceso se lleva a cabo por extrusión con maquinaria de doble tornillo y una peletizadora, obteniendo el material integrado en forma de *pellets*, al mismo se le realiza una caracterización de sus propiedades físicas y químicas tras ser sometido a un proceso de degradación en un suelo compostado. Así, la finalidad es que el material obtenido cumpla con las propiedades adecuadas para aplicarse en la industria de plásticos de un solo uso, inicialmente en la ciudad de Bogotá y sus alrededores, y que tras su desecho tenga un proceso de degradación biológica más factible, disminuyendo las problemáticas ambientales en torno a estos materiales.

Palabras clave: biopolímero, degradabilidad, extrusión, inyección.

Clasificación JEL: O10, Z19, L00.

¹ Ingeniero industrial, especialista en automática e informática industrial, magister en metalurgia y ciencia de los materiales y candidato a doctor en Ingeniería y Ciencia de los Materiales, Centro de Materiales y Ensayos del semillero de investigación Gimes, Bogotá, Colombia. Correo electrónico: prodirguezs@misena.edu.co

² Ingeniera química, Centro de Materiales y Ensayos del semillero de investigación Gimes, Bogotá, Colombia Correo electrónico: miarevalo0@misena.edu.co

³ Técnico en alistamiento de laboratorios de análisis y ensayos en el Centro de Materiales y Ensayos del semillero de investigación Gimes, Bogotá, Colombia. Correo electrónico: davictoria77@misena.edu.co

Obtaining a biopolymer based on potato starch for single-use products

Abstract

The use of thermoplastic materials, especially those used in the manufacture of single-use products, have increased environmental problems caused by the non-degradation of polymeric materials such as low-density polyethylene (LDPE). In order to contribute to the proposal of the Ministry of Environment and Sustainable Development to achieve by the year 2030, that 100 % of single-use plastics put on the market are reusable, recyclable or compostable (biologically degraded by organisms) is carried out obtaining a polymeric material composed of 75 % synthetic polymer of traditional use and 15 % of a natural polymer, in this case starch extracted from potato. The process is carried out by extrusion with twin screw machinery and a pelletizer, obtaining the integrated material in the form of pellets, at which a characterization of its physical and chemical properties is carried out after being subjected to a degradation process in a soil composted. In order for the material obtained to comply with suitable properties to be applied in the single-use plastics industry, initially in the city of Bogotá and its surroundings, so that after its disposal it has a more feasible biological degradation process, reducing problems. environment around these materials.

Keywords: biopolymer, degradability, extrusion, injection.

JEL classification: O10, Z19, L00.

Introducción

Se denomina material plástico a cualquiera que mediante compresión o calor pueda cambiar de forma y conservar esta nueva de modo permanente. Además, tiene la condición de estar principalmente compuesto por polímeros (macromoléculas) como la celulosa (Plasticseurope, 2018).

Los plásticos, usualmente, son sintetizados a partir de químicos del petróleo, ya que son muy económicos y fáciles de fabricar. La maleabilidad, la durabilidad y el bajo costo del plástico facilita la adopción del material en todas las escalas de consumo, donde un tercio de su consumo en Estados Unidos y Europa está representado en el uso de productos de uso único (productos desechables), tales como envases, utensilios para alimentación y bolsas para residuos, sin embargo, el plástico ha traído grandes beneficios para el transporte, los aparatos eléctricos y electrónicos, la construcción, la agricultura, la sanidad, etc., ocasionando que la disposición final de dicho material esté causando grandes problemas en todos los ecosistemas del mundo (Plasticseurope, 2017).

A diferencia de la materia orgánica que se descompone y se reduce a formas más simples que son recicladas dentro de un ecosistema, el plástico se desintegra en fracciones más pequeñas y suelta gases de efecto invernadero (Royer *et al.*, 2018). Actualmente, se han encontrado diferentes consecuencias de la no degradación de los productos plásticos, lo que ha llegado a cuestionar su uso a nivel mundial debatiendo si se debiese prohibir o incentivar el reciclaje y el aprovechamiento.

Colombia está participando en la discusión, proponiendo el proyecto de ley que toma el camino de la prohibición en el Senado. Según el documento, se propone que desde el 1 de enero del 2030 dejen de circular bolsas de plástico; bolsas y rollos de película extensible para empaque de alimentos a granel; rollos de película extensible

y de burbuja utilizados como envoltura, con los que se protegen objetos que se van a transportar, envases y recipientes para llevar alimentos de consumo inmediato, botellas, platos, bandejas, cuchillos, tenedores, cucharas, pitillos y copitos de algodón, entre otros.

El sector del plástico en el país genera 1,2 millones de toneladas por año, con ventas aproximadas de 17 billones de pesos, entre materia prima y productos terminados. En estos últimos, los envases y los empaques equivalen al 56 % de la producción y los mezcladores, los pitillos, los platos, los cubiertos y similares son cerca del 3 % (BC Noticias, 2019).

De igual manera, es importante resaltar que el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible reglamentó la gestión ambiental de los residuos de envases y empaques de papel, cartón, plástico, vidrio y metal, a través de la Resolución 1407 de 2018, que fomenta el aprovechamiento, la innovación y el ecodiseño de los envases y empaques que se ponen en el mercado. La norma establece a los productores la obligación de formular, implementar y mantener actualizado el Plan de Gestión Ambiental de Residuos de Envases y Empaques, en el marco de la responsabilidad extendida del productor, el cual debe ser presentado ante la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (Castro-Garzón *et al.*, 2020)

Con este trabajo de investigación, pretendemos obtener un material compuesto, termoplástico y biodegradable, que se empleará en la fabricación de productos de un solo uso, siendo una alternativa a los problemas ambientales generados por los polímeros sintéticos.

Metodología

Proceso de extrusión e inyección

Al momento en que se inició el proceso de obtención del material biodegradable, se procedió a pesar las materias primas (almidón de papa (AL), polietileno de baja densidad (PEBD)

y aditivos (AD). Posteriormente, se realizó la mezcla dispersiva del tratamiento con ayuda de la mezcladora Shini SSM-U durante 10 minutos y después de mezclado el material se llevó a precalentar por cinco minutos para agregarlo a la tolva de alimentación de la máquina extrusora de doble tornillo, obteniendo el filamento e introduciéndolo por la ranura de la peletizadora para obtener los *pellets*.

Para el proceso de inyección se posicionó el molde de las probetas siguiendo lo establecido por la norma ASTM-D638, posteriormente se calibró la máquina inyectora Wittmann Smart Power 60 con los parámetros establecidos para el tipo de material (T: 200-140 °C) y se dispuso en el envase de succión hacia la tolva de alimentación, luego dicha máquina cargó los *pellets* y los calentó hasta el punto de fusión para inyectar el material en el molde y, finalmente, se obtuvieron las probetas que fueron utilizadas en los ensayos de propiedades mecánicas.

Obtención de productos de un solo uso

Para esta parte del proceso, se llevó el material obtenido en empaques de 25 kg a las empresas, los cuales se utilizaron en los procesos de extrusión de película flexible y extrusión de láminas para obtener productos de un solo uso como pitillos, bolsas y platos; en el proceso de inyección se obtuvieron productos como palos de paleta y empaques industriales.

Prueba de biodegradabilidad

En este trabajo de investigación se tomó como referencia la norma general ASTM-6400, la cual establece la biodegradabilidad de un material polimérico. Se inició con la preparación del compost que está determinada por la norma ASTM-5988, la cual establece que se debe realizar una sistema de compostaje teniendo en cuenta los siguientes pasos:

1. Realizar la recolección de los residuos orgánicos (cáscaras de papa, banano, piña,

entre otros) y mezclar todos los materiales para luego secarlos al sol. Después, pesar el material orgánico obtenido y agregarle la tierra en una proporción de 1 g de materia orgánica/500 g de suelo, como lo indica la norma.

2. La materia orgánica obtenida se debe disponer en gavetas plásticas durante 1 mes, controlando variables como pH, temperatura y porcentaje de humedad.
3. Una vez los parámetros del compost están de acuerdo con la norma, se siembran las probetas obtenidas.

De acuerdo con lo que exige la norma, las probetas deben ser enterradas por un periodo de 180 días, en los cuales mensualmente se extraerá una muestra representativa de suelo que se dispondrá en un biómetro junto con una solución de hidróxido de potasio de concentración conocida, los cuales se incubarán a oscuras y con temperatura controlada durante siete días, para después titular con ácido clorhídrico la solución de KOH que reaccionó con el dióxido de carbono desprendido por la tierra. La cantidad de dióxido de carbono se establecerá mediante análisis volumétricos, teniendo en cuenta el volumen de ácido clorhídrico empleado para la titulación. Además, se tomará una muestra representativa de probetas para verificar las propiedades mecánicas y comparar con la muestra patrón si se produjo un cambio.

Ensayos de propiedades mecánicas

Para la caracterización de las propiedades mecánicas de este nuevo material bioplástico, se tomó en cuenta la norma ASTM-D638. Para la prueba de tensión se tomó una muestra representativa de probetas producidas, a las cuales se les tomaron las medidas para calcular el área transversal, después se posicionaron en la máquina universal de ensayos marca Besmax de capacidad de cinco toneladas, se establecieron los parámetros de velocidad ($V = 5 \text{ mm/s}$) y comenzó

el ensayo hasta la falla o la ruptura del material, por último, se elaboró la tabulación de los resultados arrojados por el *software* de la máquina para realizar el promedio y obtener los resultados.

El ensayo de dureza se llevó a cabo en un durómetro marca Check Line, utilizando un indentador tipo *shore D*, donde se posiciona la probeta de biopolímero ejerciendo presión sobre ella, lo que deja una hendidura a la cual se le mide la profundidad de penetración o el tamaño de impresión, dando como resultado la dureza del material.

Resultados y discusión

Proceso de extrusión e inyección

En el proceso de extrusión se obtuvieron *pellets* del tratamiento utilizado en este trabajo

de investigación (figura 1), los cuales tienen un tamaño de diámetro de 4 mm × 4 mm de longitud, los cuales se empaclaron en bolsas de 25 kg para los diferentes procesos.

En el proceso de inyección se elaboraron las probetas, de acuerdo con el diseño experimental de la figura 2, las cuales se obtuvieron utilizando un molde de inyección en acero de dos cavidades (figura 3).

Las probetas demuestran que los *pellets* del material compuesto que se obtuvieron pueden ser transformados en productos finales a través de procesos de inyección por medio de la máquina inyectora: Wittmann Smart Power 60 que maneja tecnología 4.0, lo que comprobaría que el material obtenido no presentará problemas en máquinas convencionales.



Figura 1. Pellets obtenidos

Fuente: elaboración propia.



Figura 2. Probetas al 15 %
Fuente: elaboración propia.



Figura 3. Molde para probetas
Fuente: elaboración propia.

Prueba de biodegradabilidad

Para esta prueba se tomaron los parámetros del compostaje como se presenta en la tabla 1, en

estos se puede observar que el pH se encuentra entre 6 y 8 y el % de humedad se encuentra cercano a 50 %, de acuerdo con el requerimiento de la norma.

Tabla 1. Control de parámetros de compost

| | | pH | T (° C) | % humedad | % hr |
|-------------------|----|-----|---------|-----------|------|
| 2021-08-13 | C3 | 6,5 | 17 | 39,9 | 47 |
| | C7 | 6,5 | 18 | 41,9 | 47 |
| 2021-08-17 | C3 | 7,0 | 15 | 38,4 | 55 |
| | C7 | 7,0 | 15 | 40,2 | 55 |
| 2021-08-30 | C3 | 7,5 | 13 | 47,7 | 53 |
| | C7 | 7,0 | 13 | 50,6 | 53 |

Nota aclaratoria: esta tabla muestra los parámetros controlados en el compostaje.

Fuente: elaboración propia.

Después de la siembra de las probetas (figura 4), se deben seguir controlando los parámetros establecidos por la norma, con el fin de obtener resultados exactos de la prueba de biodegradabilidad. Como hasta el momento comienza esta prueba, no hay resultados que demuestren la biodegradabilidad del material, sin embargo, los mostrados en el trabajo de los investigadores Rodríguez, López y Parga (2019)

manifiestan que este tipo de material se degrada en 180 días.

En esta prueba se espera que, a medida que pase el tiempo, la cantidad de dióxido de carbono aumente mientras el material se degrada, además, visualmente en el compostaje se debe presentar crecimiento de microorganismos y plantas que confirmen la degradabilidad del material.



Figura 4. Siembra de probetas al 15 % de almidón en el compostaje

Fuente: elaboración propia.

Ensayos de propiedades mecánicas

Los resultados de las pruebas mecánicas obtenidos para las probetas al 0 % y el 15 % de almidón se muestran en las tablas 2 y 3, en las cuales se observa que el porcentaje de

elongación de la probetas al 15 % de almidón es menor que la del polietileno puro, siendo el del primero aproximadamente del 22 %, mientras que la del polímero sintético es del 58 %, lo que indica que el material obtenido presenta menor elasticidad.

Tabla 2. Prueba de tensión probeta al 0 % de almidón

| Ítem de ensayo | Ancho (mm) | Espesor (mm) | Esfuerzo máximo (mpa) | Fuerza máxima (N) | Longitud inicial (mm) | Longitud final (mm) | Porcentaje de elongación |
|----------------|------------|--------------|-----------------------|-------------------|-----------------------|---------------------|--------------------------|
| P01 | 12 316 | 3110 | 10 552 | 403 632 | 62 000 | 102 000 | 64,52% |
| P02 | 12 312 | 3194 | 11 223 | 440 714 | 62 000 | 95 000 | 53,23% |
| P03 | 12 312 | 3178 | 11 479 | 447 925 | 62 000 | 88 000 | 41,94% |
| P04 | 12 298 | 3202 | 10 505 | 413 933 | 62 000 | 109 000 | 75,81% |
| P05 | 12 292 | 3154 | 11 647 | 451 554 | 62 000 | 97000 | 56,45% |

Nota aclaratoria: en esta tabla se presentan los datos arrojados por la máquina de ensayos de tensión para la probeta de polietileno de baja densidad puro.

Fuente: elaboración propia.

Tabla 3. Prueba de tensión probeta al 15 % de almidón

| Ítem de ensayo | Ancho (mm) | Espesor (mm) | Esfuerzo máximo (mpa) | Fuerza máxima (N) | Longitud inicial (mm) | Longitud final (mm) | Porcentaje de elongación |
|----------------|------------|--------------|-----------------------|-------------------|-----------------------|---------------------|--------------------------|
| P151 | 12 312 | 3160 | 11 407 | 443,80 | 62,00 | 81,00 | 30,65 % |
| P152 | 12 302 | 3142 | 11 469 | 443,31 | 62,00 | 74,00 | 19,35 % |
| P153 | 12 298 | 3100 | 11 547 | 440,22 | 62,00 | 76,00 | 22,58 % |
| P154 | 12 300 | 3140 | 11 956 | 462,35 | 62,00 | 76,00 | 22,58 % |
| P155 | 12 354 | 3144 | 11 299 | 439,14 | 62,00 | 76,00 | 22,58 % |

Nota aclaratoria: en esta tabla se presentan los datos arrojados por la máquina de ensayos de tensión para la probeta al 15 % de almidón de papa.

Fuente: elaboración propia.

En la figura 5 se presenta el esfuerzo máximo para las probetas de ambos tratamientos, donde se puede observar que la probeta elaborada a base de almidón de papa presentó un esfuerzo máximo mayor comparada con la de polímero sintético (PEBD), esto quiere decir que el material obtenido resiste mayor carga y cuando este sea utilizado para la fabricación de bolsas, serán propiedades superiores a las usadas en el diseño con materiales termoplásticos sintéticos.

El esfuerzo máximo de cada probeta puede variar dependiendo del área transversal de la misma, así como por deformación o vacancias presentes en las probetas, sin embargo, para verificar la existencia de estas particularidades en el material, es necesario realizar otras pruebas como SEM, en la cual se podrá observar microscópicamente cómo es la estructura interna del biopolímero y determinar si posee dichas fallas.

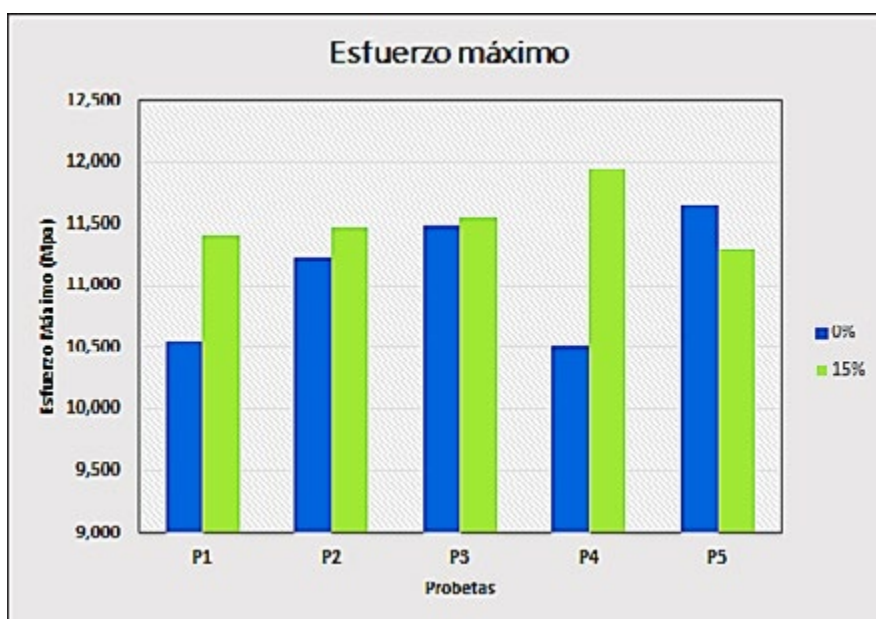


Figura 5. Esfuerzo máximo para las probetas del 0 % y el 15 % de almidón de papa

Fuente: elaboración propia.

Además, se graficó el esfuerzo contra la deformación del promedio obtenido por cada una de las probetas (figura 6), tanto para las de polietileno de baja densidad como para las del

15 % de almidón de papa, donde se evidencia que aunque la probeta con almidón llega al punto de ruptura antes que la de polietileno, esta posee mayor resistencia física.

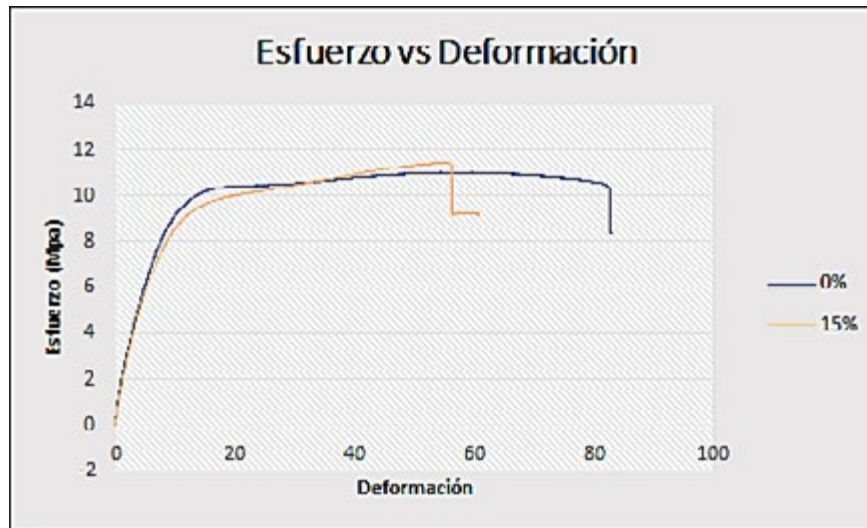


Figura 6. Esfuerzo vs. deformación promedio de las probetas al 0 % y al 15 % de almidón de papa
Fuente: elaboración propia.

Los datos que se presentan en la tabla 4 fueron obtenidos después de realizar las pruebas de dureza de los dos tratamientos, donde se evidencia que el material obtenido con el polímero

natural presenta mayor dureza que el elaborado con el polímero sintético y, por lo tanto, posee alta rigidez, dureza y resistencia a la tensión según la escala de comparación de Rockwell.

Tabla 4. Prueba de dureza de las probetas al 0 % y al 15 % de almidón de papa

| Toma 1 | Toma 2 | Toma 3 | Toma 4 | Toma 5 | Promedio | Error | Material y descripción |
|--------|--------|--------|--------|--------|----------|-------|---------------------------|
| 55,5 | 54,9 | 54,3 | 54,3 | 53,9 | 54,6 | 1,6 | Polietileno 0% |
| 54,0 | 53,7 | 51,2 | 52,1 | 52,9 | 52,8 | 2,8 | Polietileno 0% |
| 52,5 | 48,7 | 47,9 | 47,8 | 53,0 | 50,0 | 5,2 | Polietileno 0% |
| 50,7 | 46,8 | 50,7 | 48,5 | 53,2 | 50,0 | 6,4 | Polietileno 0% |
| 53,4 | 52,7 | 52,8 | 52,6 | 55,3 | 53,4 | 2,7 | Polietileno 0% |
| 57,0 | 56,5 | 55,0 | 50,8 | 56,1 | 55,1 | 6,2 | Polietileno + almidón 15% |
| 54,1 | 54,0 | 56,0 | 53,0 | 54,5 | 54,3 | 3,0 | Polietileno + almidón 15% |
| 55,9 | 53,8 | 55,2 | 52,4 | 54,7 | 54,4 | 3,5 | Polietileno + almidón 15% |
| 55,7 | 53,7 | 53,8 | 53,7 | 55,0 | 54,4 | 2,0 | Polietileno + almidón 15% |
| 55,3 | 54,5 | 53,5 | 53,7 | 55,8 | 54,6 | 2,3 | Polietileno + almidón 15% |

Nota aclaratoria: en esta tabla se presentan los datos de la prueba de dureza para la probeta al 0 % y el 15 % de almidón de papa.

Fuente: elaboración propia.

Al tener en cuenta los resultados mencionados a lo largo de este artículo, se puede evidenciar que el biopolímero a base de almidón de papa presenta propiedades similares y, en algunos aspectos, mejores que el polietileno de baja densidad, pero con la ventaja de que este puede ser degradado de manera natural por procesos biológicos, siendo la alternativa para producción de productos de un solo uso.

Agradecimientos

Agradecemos de forma especial al Servicio Nacional de Aprendizaje (sena) y al Centro de Materiales y Ensayos, representados por el subdirector Santiago Julio Camacho Peña, al líder del grupo de investigación, el ingeniero Pedro Rodríguez Sandoval, por su paciencia, apoyo y transferencia de conocimientos en el proceso de obtención y transformación de materiales compuestos biodegradables. Además, deseamos agradecer a las empresas aliadas de transformación de polímeros, al centro metalmecánico por su buena disposición y colaboración en el proceso de inyección y, finalmente, a todos los aprendices que hacen parte del semillero de investigación Simcop y al grupo Sennova, por todo su apoyo y recursos puestos en el proyecto.

Referencias

- BC Noticias. (2019). *Colombia entierra anualmente 2 billones de pesos en plásticos que se pueden reciclar*. Recuperado de <https://www.bcnoticias.com.co/colombia-entierra-anualmente-2-billones-de-pesos-en-plasticos-que-se-pueden-reciclar/>
- Castro-Garzón, H., Contreras, E. J. y Rodríguez, J. P. (2020). Análisis ambiental: impactos generados por los residuos agrícolas en el municipio del Dorado (Meta, Colombia). *Espacios*, 41(38), 42-50. doi: [10.48082/espacios-a20v41n38p05](https://doi.org/10.48082/espacios-a20v41n38p05)
- García, A. (2015). *Obtención de un polímero biodegradable a partir de almidón de maíz*. Recuperado de <http://www.redicces.org.sv/jspui/bitstream/10972/2436/4/05%20Obtenci%c3%b3n%20de%20un%20pol%c3%admero%20biodegradable-convertido.pdf>
- Plasticseurope. (2017). *Plastics – the Facts 2017 An analysis of European plastics production, demand and waste data*. Plastics Europe: Düsseldorf. Recuperado de <https://plasticseurope.org/wp-content/uploads/2021/10/2017-Plastics-the-facts.pdf>
- Plasticseurope. (2018). *Plastics – the Facts 2018 An analysis of European plastics production, demand and waste data*. Plastics Europe: Düsseldorf. Recuperado de <https://plasticseurope.org/wp-content/uploads/2021/10/2018-Plastics-the-facts.pdf>
- Rodríguez, P. y Camargo, S. (2017). Caracterización de las propiedades mecánicas de un material biodegradable a partir de los procesos de extrusión y peletizado. *Informador Técnico*, 81(2), 177-180.
- Rodríguez, P., López, D. y Parga, C. (2019). Innovación de productos biodegradables a través de materiales compuestos. *Informador técnico*, 83(2 S1), 86. Recuperado de <https://link.gale.com/apps/doc/A612929143/IFME?u=anon~83638ed5&sid=googleScholar&xid=14b6765d>
- Rodríguez, P., Prieto, E. y Pachón, Y. (2015). Obtención y caracterización de un biodegradable a partir de almidón de papa y polietileno de baja densidad por inyección. *Informador Técnico*, 79(2 S1), 61. Recuperado de <https://link.gale.com/apps/doc/A495428712/>

[IFME?u=anon~655d9ad1&sid=google
Scholar&id=29e8e0fb](https://scholar.google.com/citations?u=anon~655d9ad1&sid=google&id=29e8e0fb)

Rodríguez, P., Sánchez, A. F., León, O. E. y Ensayos, B. (2018). Evaluación de resultados de la degradación de un bioplástico sometido a procesos de compostaje según normas ASTM D-6400 y D-5988. *Memorias del IV Simposio de Materiales Poliméricos, Cali 13 y 14 de septiembre de 2018*. Recuperado de https://revistas.sena.edu.co/index.php/inf_tec/issue/view/292

Royer, S., Ferrón, S., Wilson, S. y Karl, D. (2018). Production of methane and ethylene from plastic in the environment. *PloS one*, 13(8), e0200574. doi: [10.1371/journal.pone.0200574](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0200574)

Shogren, R. L., Fanta, G. F. y Doane, W. M. (1993). Development of Starch Based Plastics - A Reexamination of Selected Polymer Systems in Historical Perspective. *Starch/Stärke*, 45, 276-280. doi: [10.1002/star.19930450806](https://doi.org/10.1002/star.19930450806)