

Fabricación de un polímero biodegradable a partir de la semilla de mango criollo

Camilo Andrés Higuera Sarmiento, Deybi Santiago Holguín Pava, Diana Marcela Méndez León

Universidad EAN

chiguer95543@universidadean.edu.co, dholgui87110@universidadean.edu.co,
dmendez03876@universidadean.edu.co

Resumen

A lo largo de la historia de la industria se han implementado diversos materiales debido a las propiedades que estos ofrecen, dentro de estos materiales un grupo que se ha destacado en las últimas décadas es el plástico, el cual ofrece una buena resistencia, maleabilidad y durabilidad a un bajo costo, sin embargo, hay una gran cantidad de problemas ambientales asociados al uso desmedido de este material, por ello, este trabajo de investigación se realizó con el objetivo de plantear un proceso de producción que facilite la fabricación de polímeros biodegradables a partir del almidón presente en la semilla de mango y, mediante técnicas empleadas en el enfoque de investigación mixto como la revisión documental, la observación en campo y la aplicación de cuestionarios, determinar la percepción de la población y la aceptación del producto en el mercado con el objetivo de asegurar un proceso que cumpla con todas las características contempladas en el marco de la sostenibilidad.

Palabras Clave: Biopolímero, plásticos, mango criollo, sostenibilidad, economía circular.

Introducción.

Los plásticos han tenido una infinidad de usos en las últimas décadas, convirtiéndose en un material indispensable para las industrias, es bien sabido que estos materiales están presentes en casi todos los procesos contemporáneos y ha llevado a la humanidad a su posición actual, sin embargo, hay problemas ambientales asociados a la utilización y disposición masiva de estos residuos, entre los cuales destacan la contaminación de cuerpos acuáticos, ya que, al ser erróneamente desechados, gran cantidad de los productos plásticos terminan en el océano, donde las especies animales que habitan el área confunden estos productos con otros animales pertenecientes a la cadena trófica y los ingieren, causando usualmente la muerte por asfixia, además, se ha comprobado la acumulación de microplásticos en estos, los cuales pueden llegar a ser consumidos por las comunidades aledañas al mar donde la principal actividad económica es la pesca, transmitiéndose a los humanos.

Teniendo en cuenta lo anterior, se evidenció la necesidad de innovar desde las ingenierías química y ambiental para buscar una alternativa que reemplace a estos plásticos de un solo uso, se propone la formulación y fundamentos de producción de un biopolímero a partir de la semilla de mango que potencialmente mitigue el uso del plástico convencional. Por ende, se propone la siguiente pregunta de investigación: ¿Es posible crear un polímero biodegradable a partir de la semilla de mango criollo que sea competitivo a nivel industrial con los plásticos convencionales, y a la vez, cumpliendo con el concepto de seguridad alimentaria? Para ello, se realiza una búsqueda e identificación de las

propiedades de biopolímeros biodegradables, y con esos datos, se diseña un proceso de producción guiado desde los principios de sostenibilidad.

Marco de referencia.

Para realizar un análisis detallado de la información previa a estos estudios se revisaron documentos asociados a los principios teóricos establecidos para la investigación, los cuales son el desarrollo sostenible, los plásticos convencionales, los biopolímeros, los datos del mango y su desecho y finalmente procesos similares.

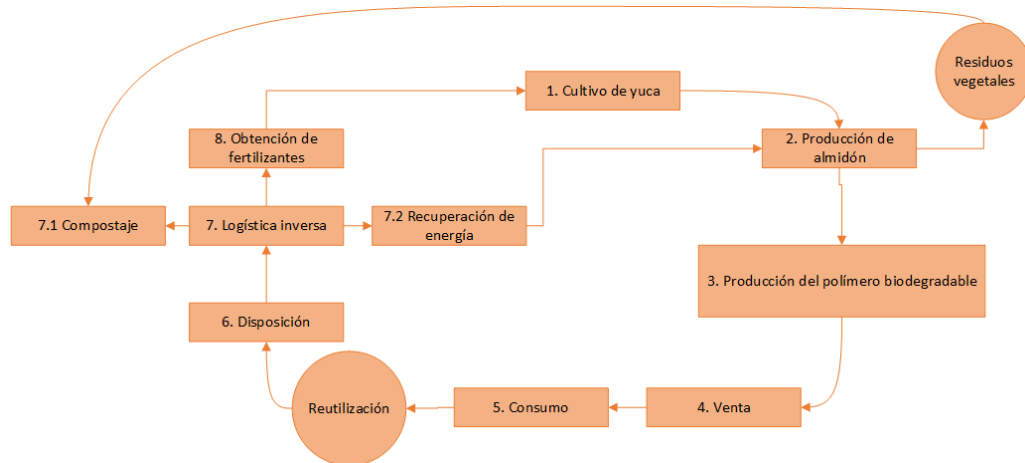
Desarrollo sostenible

Considerado uno de los temas más importantes de la actualidad, el desarrollo sostenible, guiado por la clasificación entre los recursos renovables y no renovables y el constante cuestionamiento sobre el agotamiento de los recursos de primera necesidad para las próximas generaciones, debe ser mencionado para esta investigación. Desde la consciencia frente lo que es tomado de la naturaleza y lo que debe retribuirse la misma, con una perspectiva a futuro con la que mundialmente los gobiernos esperan lograr un balance en términos económicos, ambientales y sociales (Moller, 2010).

Teniendo en cuenta lo anterior, es fundamental que las investigaciones de nuevos materiales permanezcan en el marco del desarrollo sostenible con el fin de asegurar una producción responsable que no impacte de manera negativa al entorno en el que se desarrollan, conservando su rentabilidad.

Adicionalmente, se debe evaluar el concepto de economía circular, el cual está estrechamente relacionado con la sostenibilidad de los procesos de producción y a los residuos generados por los mismos, en este caso, en los procesos agroindustriales, por ello, se estudia el ciclo de vida del proceso de producción de polímeros biodegradables establecido por las investigaciones realizadas anteriormente, en las que se plantea una disposición responsable en el compostaje y su aprovechamiento para generación de energía (Casarejos, R. Bastos, Rufin, & N. Frota, 2018)

Figura 1. Ciclo de vida de los biopolímeros fabricados a partir de almidón de yuca



Fuente: Adaptado de Casarejos et al, 2018

Plásticos convencionales.

Dentro de las clasificaciones de los plásticos existen tres categorías definidas por la fundación Heinrich Böll & Break Free From Plastic (2020), las cuales se dividen de acuerdo con su respuesta termodinámica y sus procesos de polimerización. La primera categoría definida como “termoplásticos”, los cuales poseen cadenas lineales y ramificadas que adoptan nuevas formas al ser sometidos a cambios de temperatura, la segunda categoría hace referencia a los “termofijos” que presentan una estructura más compleja y no se funden al someterse a altas temperaturas, por lo que los procesos de disposición final de estos materiales deben hacerse con tratamientos especializados, y finalmente se encuentran los “elastómeros” que cuentan con propiedades físicas diferentes, particularmente en su elasticidad, debido a que su estructura molecular se encuentra en su mayoría “desordenada” en relación a otros plásticos, por lo que incluso al ser sometido a altas tensiones puede recuperar su forma original (Madrigal & Shastri, 2011) & (Vázquez Morillas et al., 2014).

Para el año 2018 se estimó que la producción de plásticos a nivel mundial alcanzo las 308 toneladas métricas, lo que es aproximadamente un 10% de los residuos totales generados por el ser humano, este proceso de producción está estrechamente relacionado con la contaminación tanto de aires como de océanos, ya que como se ha comprobado, la liberación de plásticos convencionales a los cuerpos hídricos compromete entre el 60% y el 90% de la red trófica marina, una primera solución propuesta es el reciclaje, sin embargo, se ha comprobado que tan solo el 20% de los plásticos son reciclables, evidenciándose que no es una alternativa viable (Pellis et al., 2021).

Biopolímeros.

Debido a las problemáticas que ha conllevado el uso de los plásticos a base de combustibles fósiles, se han explorado alternativas en la naturaleza que sean rentables, permitan un amplio rango de usos en la industria y el hogar, sean sustentables y ambientalmente amigables; una de estas alternativas ha sido los polímeros biodegradables, también conocidos como biopolímeros. Estos biomateriales se pueden sintetizar a través de diversos polisacáridos, tales como el almidón, la lignina, la quitina y la celulosa; estos biomateriales cuentan además con la ventaja de poseer una huella menor de carbono al generado por los procesos de producción convencionales de los plásticos fabricados a partir de combustibles fósiles. (Shafqat, Mahmood, Bari, Yasar, & Pugazhendhi, 2020)

Entre los polisacáridos más prometedores para la creación de polímeros biodegradables se encuentra el almidón, ya que es ideal debido a sus grupos funcionales y a la presencia de amilosa y amilopectina, las cuales se pueden polimerizar y, en función de los polisacáridos, cambiar las propiedades físicas del biopolímero (Shafqat, Mahmood, Bari, Yasar, & Pugazhendhi, 2020). Se han hecho investigaciones acerca de la biodegradabilidad frente a condiciones externas, tales como cambios bruscos de temperatura, a la salinidad de agua marina, la presencia de minerales en el suelo y como materia prima de compostaje, demostrando su alto grado de degradabilidad, por lo que se busca determinar que propiedades se pueden modificar para hacer del polímero degradable una alternativa viable que pueda ser utilizado en la industria del plástico a nivel nacional. Se ha propuesto realizar procesos de ozonización de los materiales con el objetivo de mejorar las propiedades físicas del material que soporten las condiciones requeridas por la industria mediante una mayor estabilidad sin perder las propiedades biodegradables en el proceso (La Fuente, de Souza, Tadini, & Duarte Augusto, 2019). Otra propuesta propone realizar una mezcla de la película del biopolímero seca con benzoato de sodio y posteriormente exponerla a rayos U.V., lo que causa una reacción que mejora las propiedades físicas del polímero y de esta manera otorgarles mayor resistencia. (Shahabi-Ghahfarrokhi, Goudarzi, & Babaei-Ghazvini, 2019)

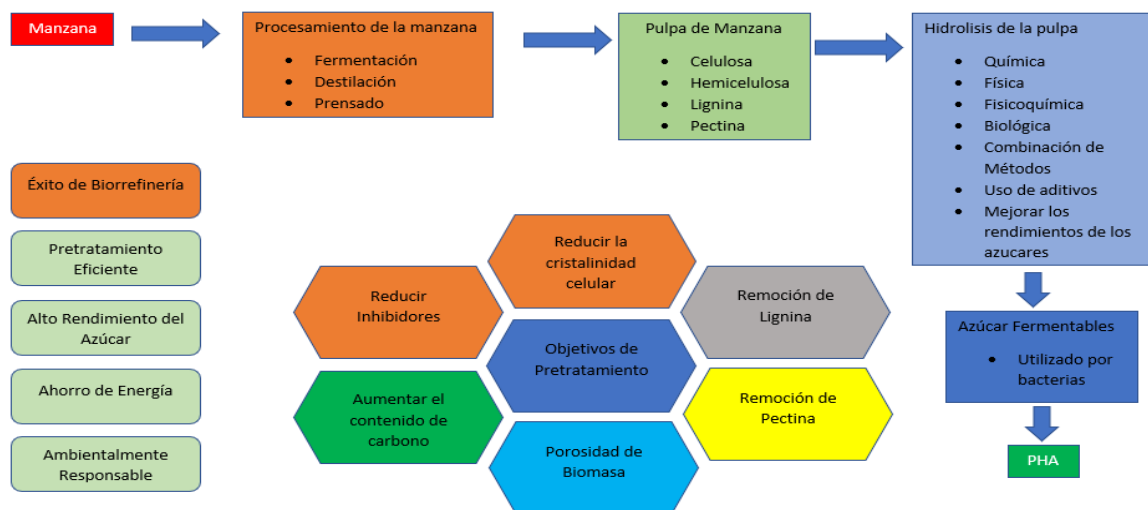
Datos del mango y su desecho.

En Colombia se tiene registro del mango criollo, el cual se producen aproximadamente 240.000 toneladas anuales, el cual se distribuye de manera interna, siendo consumido únicamente en el territorio nacional, donde la semilla corresponde alrededor del 40% del peso de la fruta, la cual está constituida por cuatro partes, el endocarpio que se caracteriza por presentar fibras longitudinales que se extienden hacia la pulpa; la testa es un tejido delgado coriáceo que se encuentra unido a la parte interna del endocarpio; el tegumento es la estructura que envuelve los cotiledones que son la parte de la semilla dividida en secciones donde se localiza el embrión sexual y los embriones nucleares; este residuo se ha estudiado como potencial de materia prima en procesos de producción de energía en biodigestores o en procesos de biodigestores o en procesos de compostaje que resultan como fertilizantes (Milquez Sanabria, 2017). La semilla de mango posee entre un 50% a un 78% en peso de almidón, lo cual es un factor decisivo para considerarlo como materia prima para el desarrollo de polímeros biodegradables. (Bangar, Kumar, & Whiteside, 2021)

Procesos similares.

Los estudios que se han realizado para el desarrollo de los polímeros no solo se han basado en los almidones, muchos otros investigadores se han enfocado en múltiples residuos, tal es el caso que han estudiado Liu, Kumar y colaboradores, los cuales han planteado que los desechos de manzana provenientes de la industria, los cuales contienen almidón, celulosa, lípidos o proteínas, los cuales pueden ser identificados como materia prima para la bio-producción de polihidroxialcanoatos (PHA), el proceso de producción depende de la predominancia de los componentes de la materia prima, las rutas de conversión y los microorganismos que se utilizan para maximizar la producción de PHA. El PHA tiene propiedades materiales similares a los plásticos basados en petróleo, pero el PHA tiene las características de ser biodegradable, biocompatible, e independiente de las fuentes fósiles y pueden ser degradados de manera ecológica en los ciclos de la naturaleza, además de que estos pueden ser sintetizados a partir de fuentes renovables. En cuanto al ciclo de degradación de los plásticos, los plásticos de embalaje en la superficie del suelo son de alrededor de 1 a 2 siglos, mientras que la película acolchada producida a partir de PHA puede degradarse rápidamente en suelos ricos en microbios, el cual le da ventajas ecológicas y económicas más altas. (Liu, y otros, 2021)

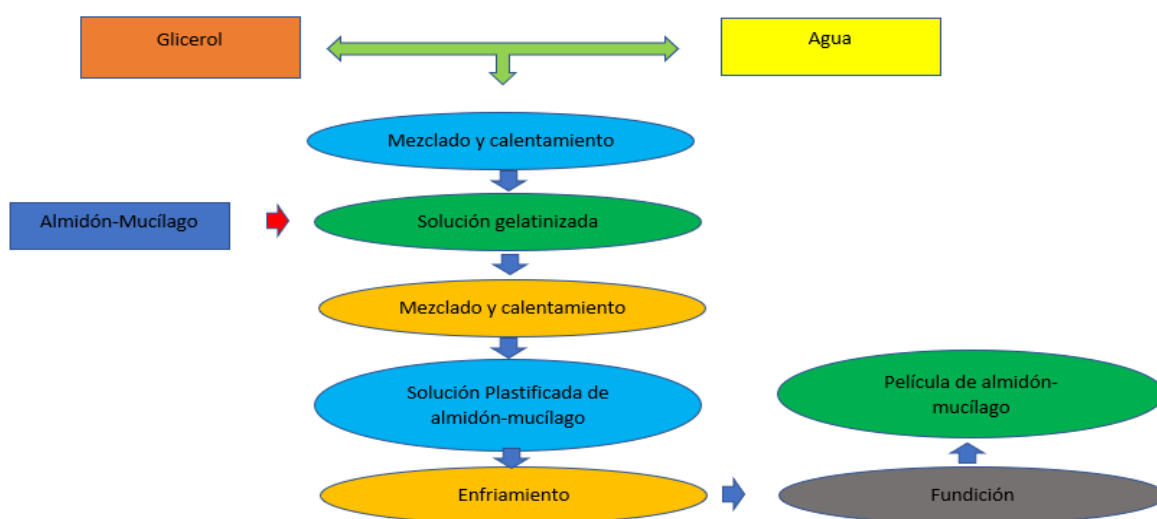
Figura 2. Utilización de los residuos de manzana para la producción de polihidroxialcanoatos (PHA)



Fuente: adaptado de Liu y otros, 2021.

Otro proceso que se ha venido desarrollando es la síntesis de películas a partir de almidón y mucílago, en el que generalmente esta película comestible a base de este biopolímero de almidón-mucílago, el cual se puede sintetizar mediante dos métodos: las técnicas de fundición y extrusión, que también son conocidos como métodos húmedos y secos. Además, la solubilidad del almidón-mucílago y otros aditivos es un factor importante para el método de fundición de formación de película, mientras que la termo-plasticidad del almidón-mucilago junto con las características de gelatinización, transición vítrea y transiciones de fase pueden reconocerse por el método de extrusión. Entre estos dos métodos, el método de fundición se utiliza ampliamente para la síntesis de películas de almidón-mucilago debido a su bajo costo de producción y también se conoce como método de fundición con disolvente. Asimismo, el método de fundición con disolvente comprende tres pasos sucesivos para preparar una película a partir de los polímeros binarios (almidón y mucilago): (i) solubilización de la muestra de almidón-mucilago en un disolvente apropiado, (ii) fundición o formación del almidón-mucilago preparado, solución en moldes, y (iii) secado de la solución de almidón- mucilago colado. (Tosif, y otros, 2021)

Figura 3. Síntesis de la película de almidón-mucilago por el método de fundición.



Fuente: Adaptado de Tosif y otros, 2021.

Metodología.

Tipo de investigación.

De acuerdo con los alcances de la investigación y definido por Sampieri (2014) esta investigación es de tipo mixta, representando un conjunto de procesos sistemáticos, empíricos y críticos de la investigación que implican la recolección y análisis de datos tanto cuantitativos como cualitativos, lo anterior, respondiendo a los objetivos planteados en apartados anteriores del documento.

Diseño metodológico.

Frente al diseño metodológico, para satisfacer las necesidades de la investigación se decidió recolectar datos mediante la aplicación de tres herramientas como lo son la revisión documental, con la finalidad de recolectar datos obtenidos de otras investigaciones, la observación del trabajo en campo, con el

objetivo de comparar los datos obtenidos con los reportados en la literatura y finalmente, la aplicación de cuestionarios para evaluar la percepción de la población frente a la fabricación de estos biopolímeros y una posible entrada al mercado en la cual se tiene en cuenta la rentabilidad del proceso y la aceptación del producto.

En cuanto al alcance de la investigación, se definió que esta tenía un alcance descriptivo, ya que, basándonos en la definición dada por Sampieri (2014) la meta de la investigación al tener este tipo de alcance es lograr describir fenómenos, situaciones, contextos y sucesos, especificándose las propiedades y características de los perfiles involucrados, lo anterior se ajustó a la investigación debido a la necesidad de describir el proceso de fabricación de los biopolímeros a partir de la semilla de mango criollo.

Variables.

Dentro de las variables que fueron consideradas a la hora de realizar esta investigación encontramos dos, como variable independiente se define la fabricación de plásticos biodegradables, la cual se menciona como una utilización de biomasa a manera de suministro alternativo frente a los combustibles fósiles (Demicheli, 1996). Como variable dependiente se toman los plásticos comunes, ya que, son definidos como polímeros sintéticos formados en su totalidad por hidrocarburos. (Perdomo, 2002)

Población y muestra

En el caso de la población se seleccionaron a personas con edades entre los 18 y los 50 años que sean consumidores o distribuidores frecuentes de plásticos de un solo uso en la ciudad de Bogotá, para ello, se tomó una muestra de la población que correspondió a un total de 82 personas que participaron en la aplicación de un primer cuestionario y, posteriormente, 100 personas que participaron en un segundo cuestionario.

Instrumentos

Finalmente, para la aplicación de las herramientas se hizo uso de diferentes formatos diseñados para satisfacer la necesidad de la investigación, entre ellos se encuentra la ficha de revisión documental, el diagrama de flujo para los procesos en campo y finalmente una tabla de análisis de respuestas para el caso de los cuestionarios.

Resultados

Resultados de la revisión documental

A continuación, se presenta el formato diligenciado de la ficha de revisión documental planteada en la metodología.

Tabla 1. Análisis documental aplicado

Documento por analizar o consultar	Fuente	Variable o ítem	Datos encontrados
---	---------------	------------------------	--------------------------

Material characterization of starch derived biodegradable plastics and its mechanical property estimation	Ashok, A., Abhijith, R., & Rejeesh, C. R. (2018). Material characterization of starch derived bio degradable plastics and its mechanical property estimation. <i>Materials Today Proceedings</i> , 5(1), 2163–2170. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.09.214	Propiedades de los plásticos biodegradables	Se mencionaron algunas de las propiedades que requieren los plásticos biodegradables y su desventaja frente a los convencionales Se menciona que las impurezas en el bioplástico le brindan mayor resistencia
A review on environmental significance carbon footprints of starch based bio-plastic: A substitute of conventional plastics	Shafqat, A., Mahmood, A., Bari, A., Yasar, A., & Pugazhendhi, A. (2020). A review on environmental significance carbon foot prints of starch based bio - plastic: A substitute of conventional plastics. <i>Biocatalysis and Agricultural Biotechnology</i> .	Sostenibilidad del proceso de producción de plásticos biodegradables	Se define a los plásticos biodegradables como una necesidad para la supervivencia de la industria
Environmental impact assessment of six starch plastics focusing on wastewater-derived starch and additives	L.M. Broeren, M., Kuling, L., Worrell, E., & Shen, L. (2017). Environmental impact assessment of six starch plastics focusing on wastewater-derived starch and additives. <i>Resources, Conservation & Recycling</i> , 246-255.	Sostenibilidad del proceso de producción de plásticos biodegradables	Este estudio realiza la comparación entre las distintas huellas de carbono dejadas por los procesos de producción de los biopolímeros y algunos polímeros biodegradables
Some physicochemical and rheological properties of starch isolated from avocado seeds	Chel, L., Barbosa, E., Martínez, A., González, E., & Betancur, D. (2016). Some physicochemical and rheological properties of starch isolated from avocado seeds. <i>International Journal of Biological Macromolecules</i> , 86, 302–308.	Propiedades de los plásticos biodegradables	Este estudio realiza una caracterización detallada del almidón obtenido a partir de semillas de aguacate, otro residuo con un ciclo de vida muy similar al de la semilla de mango

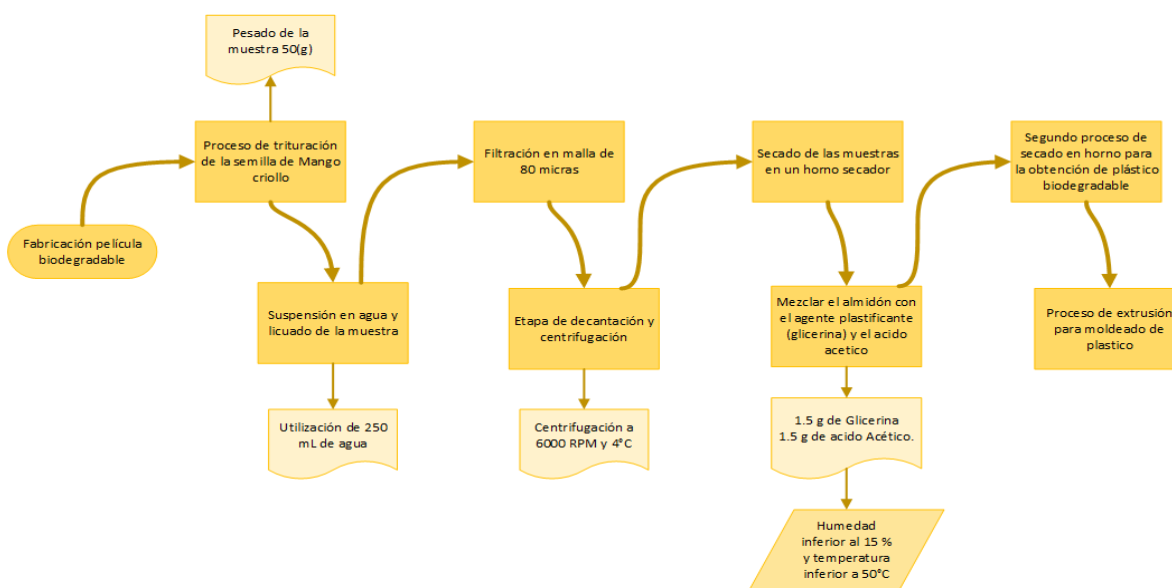
Rethinking packaging production and consumption vis-a-vis circular economy: A case study of compostable cassava starch-based material	Casarejos, F., Bastos, C. R., Ru, C., & Frota, M. N. (2018). Rethinking packaging production and consumption vis-a-vis _ circular economy: A case study of compostable cassava starch-based material. <i>Journal of Cleaner Production</i> , 201, 1019–1028. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.114	Sostenibilidad del proceso de fabricación de polímeros biodegradables	Este documento plantea todo el ciclo de vida de los plásticos biodegradables presentando una alternativa compostable, mejorando el proceso
---	--	---	--

Fuente: Elaboración propia, 2021

Observación en campo.

Para la observación y trabajo de campo se realizaron experimentos con el objetivo de formular un proceso de extracción de almidón de la semilla de mango y la formación de una película biodegradable, el procedimiento fue diagramado mediante un diagrama de flujo.

Figura 4. Diagrama de flujo del trabajo de campo



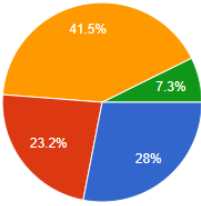
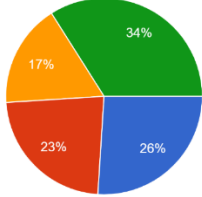
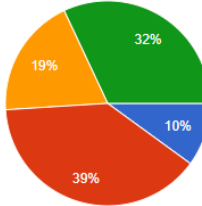
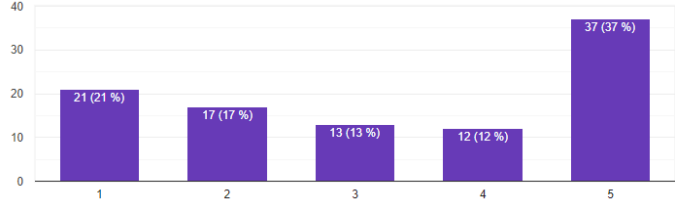
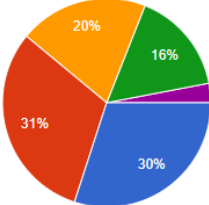
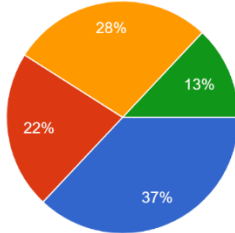
Fuente: Elaboración propia, 2021

Aplicación de Cuestionarios.

Para la aplicación de cuestionarios se obtuvieron los resultados presentes en la tabla 2

Tabla 2. Resultados de las encuestas

Pregunta	Ítem	Resultados	Análisis (Se evidencia)																		
1	Propiedades de los plásticos biodegradables	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Rating</th> <th>Count</th> <th>Percentage</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>15</td> <td>18.3%</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>25</td> <td>30.5%</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>18</td> <td>22%</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>17</td> <td>20.7%</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>7</td> <td>8.5%</td> </tr> </tbody> </table>	Rating	Count	Percentage	1	15	18.3%	2	25	30.5%	3	18	22%	4	17	20.7%	5	7	8.5%	El tema de los plásticos biodegradables, si bien es conocido, no se conoce de manera muy específica y hay muchos conceptos que pueden resultar totalmente desconocidos.
Rating	Count	Percentage																			
1	15	18.3%																			
2	25	30.5%																			
3	18	22%																			
4	17	20.7%																			
5	7	8.5%																			
2	Propiedades del plástico biodegradable para ser competitivo	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Categoría</th> <th>Porcentaje</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Calidad</td> <td>41.5%</td> </tr> <tr> <td>Precio</td> <td>42.7%</td> </tr> <tr> <td>Diseño</td> <td>15.9%</td> </tr> </tbody> </table>	Categoría	Porcentaje	Calidad	41.5%	Precio	42.7%	Diseño	15.9%	El polímero biodegradable utilizado para la fabricación de productos plásticos debe contar tanto con una buena calidad como ser accesible.										
Categoría	Porcentaje																				
Calidad	41.5%																				
Precio	42.7%																				
Diseño	15.9%																				
3	Proceso de fabricación de plásticos	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Proceso</th> <th>Count</th> <th>Percentage</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Extruido</td> <td>18</td> <td>18.5%</td> </tr> <tr> <td>Inyección</td> <td>12</td> <td>14.8%</td> </tr> <tr> <td>Spun</td> <td>17</td> <td>20.7%</td> </tr> <tr> <td>Ninguna</td> <td>58</td> <td>72%</td> </tr> </tbody> </table>	Proceso	Count	Percentage	Extruido	18	18.5%	Inyección	12	14.8%	Spun	17	20.7%	Ninguna	58	72%	Un alto porcentaje de personas que no conocen ningún proceso de moldeo de plásticos con los que se fabrican la mayoría de los productos de uso cotidiano.			
Proceso	Count	Percentage																			
Extruido	18	18.5%																			
Inyección	12	14.8%																			
Spun	17	20.7%																			
Ninguna	58	72%																			
4	Sostenibilidad de los plásticos biodegradables	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Rating</th> <th>Count</th> <th>Percentage</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>1.2%</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>8</td> <td>9.9%</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>16</td> <td>19.8%</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>29</td> <td>35.8%</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>27</td> <td>33.3%</td> </tr> </tbody> </table>	Rating	Count	Percentage	1	1	1.2%	2	8	9.9%	3	16	19.8%	4	29	35.8%	5	27	33.3%	Una percepción de los daños ambientales que genera el plástico convencional y la necesidad de reemplazarlos.
Rating	Count	Percentage																			
1	1	1.2%																			
2	8	9.9%																			
3	16	19.8%																			
4	29	35.8%																			
5	27	33.3%																			
5	Rentabilidad del proceso	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Respuesta</th> <th>Porcentaje</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Sí</td> <td>68.3%</td> </tr> <tr> <td>No</td> <td>8.5%</td> </tr> <tr> <td>Tal vez</td> <td>23.2%</td> </tr> </tbody> </table>	Respuesta	Porcentaje	Sí	68.3%	No	8.5%	Tal vez	23.2%	Un interés por parte de la población en invertir en los plásticos biodegradables con el objetivo de reemplazar los plásticos convencionales.										
Respuesta	Porcentaje																				
Sí	68.3%																				
No	8.5%																				
Tal vez	23.2%																				

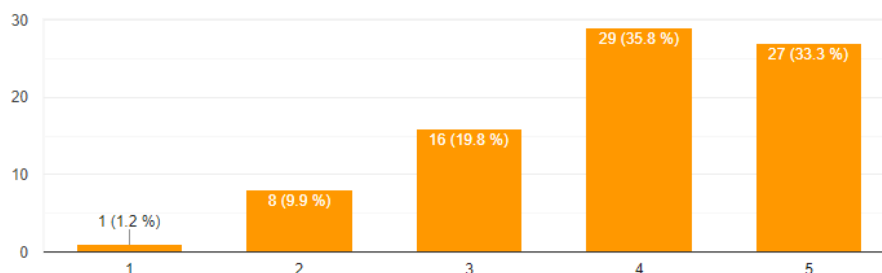
6	Inversión	 <ul style="list-style-type: none"> ● Menos de 500 pesos ● 500 pesos ● Mas de 500 pesos ● No estaría dispuesto 	Un interés por parte de la población, reforzando la respuesta anterior y dando una idea de la inversión en plásticos biodegradables.
7	Consumo de plásticos de un solo uso	 <ul style="list-style-type: none"> ● a. Entre 1 y 5 por semana. ● b. Entre 6 y 10 por semana. ● c. Entre 11 y 20 por semana. ● d. Más de 20 por semana. 	Un gran porcentaje de personas que adquieren plásticos de embalaje
8	Consumo de plásticos de más uso	 <ul style="list-style-type: none"> ● a. Productos en botellas plásticas (gaseosas, jugos, etc.). ● b. Productos tipo lonchera escolar (bon yurt, papás de paquete, etc.). ● c. Bolsas para llevar y bolsas de embalaje. ● d. Todas las anteriores. 	Una gran cantidad de miembros de la población que afirman utilizar todos los productos plásticos dentro de los intervalos.
9	Impacto Ambiental		Un gran porcentaje de la población que indica que la utilización de plásticos genera grandes impactos.
10	Reducción del consumo de plásticos	 <ul style="list-style-type: none"> ● a. Reusar el plástico. ● b. Buscar alternativas biodegradables con insumos de la naturaleza tales como semillas de frutas (mango y alm...) ● c. Limitar la producción de plásticos con normas estrictas. ● d. Reducir el contenido tóxico de los plásticos. ● e. Buscar alternativas con insumos de la naturaleza. 	Un gran porcentaje de personas que se encuentran entre la reutilización y la búsqueda de alternativas.
11	Opinión sobre la generación de residuos plásticos por día	 <ul style="list-style-type: none"> ● Entre 1 y 3 toneladas ● Entre 4 y 5 toneladas. ● Entre 6 y 9 toneladas. ● Entre 10 y 13 toneladas. 	La mayoría de la población menciona una cantidad de entre 1 y 3 toneladas, lo que indica que su percepción es más baja de lo que indican muchas estadísticas.

Fuente: Elaboración propia, 2021

Dentro de los resultados más importantes para la investigación durante la etapa de recolección de datos se encuentran las gráficas que muestran que la percepción de la población frente a los plásticos

tiende a ser negativa y que están dispuestos a invertir en nuevos materiales que sean ambientalmente sostenibles, las gráficas pueden verse a continuación.

Figura 5. Percepción de la necesidad de reemplazar los plásticos convencionales.

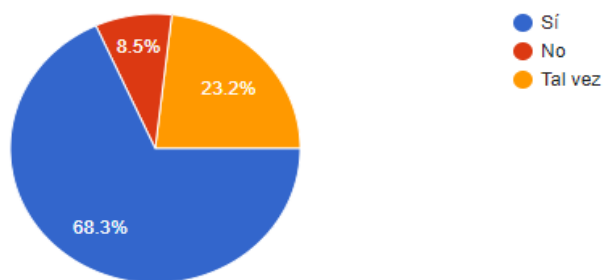


Fuente: Elaboración propia, 2021

En la pregunta anterior se evaluó la percepción de la población frente a la necesidad de reemplazar los materiales plásticos disponibles en el mercado, por ejemplo, los plásticos de un solo uso, con materiales biodegradables que minimicen el impacto ambiental generado en los procesos de producción.

En adición, se realizó una pregunta con respecto a la disposición de la población a invertir más en las alternativas biodegradables, ya que, como se ha demostrado en otros estudios, los polímeros biodegradables, por lo general, tienen un costo de producción mayor a los plásticos convencionales, los resultados obtenidos en el cuestionario para esa pregunta se encuentran en la figura 6.

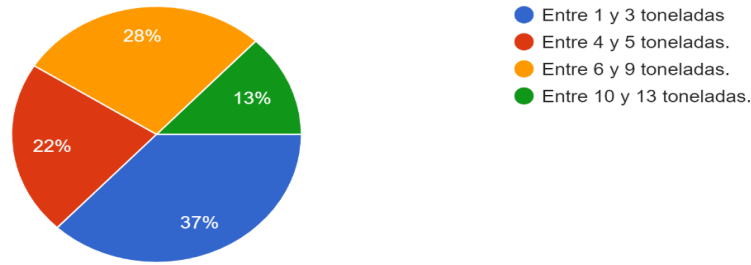
Figura 6. Disposición de la población a pagar por un polímero biodegradable.



Fuente: Elaboración propia, 2021

Finalmente, otra de las preguntas utilizadas para evaluar la percepción de la problemática por parte de la población encuestada consistía en examinar la cantidad de material plástico desechado a diario en una ciudad como Bogotá, las opciones se encontraban lejos de la realidad con el objetivo de generar un impacto y una posterior retroalimentación por parte del encuestado, los resultados obtenidos se encuentran en la figura 7.

Figura 7. Percepción de la cantidad de residuos plásticos generados en un día



Fuente: Elaboración propia, 2021

Discusión

De la información recolectada se logró concluir que gran parte de la información registrada en diversos artículos corresponde a los procesos de fabricación de películas biodegradables a partir de diversos tipos de almidones, particularmente de yuca y de papa, sin embargo, esto no cumple con el concepto de seguridad alimentaria establecido por la FAO, por lo tanto, no se puede considerar en su totalidad sostenible (FAO, 2011), adicionalmente, se evidencio que no se percibe una relación directa entre la disposición de plásticos de un solo uso y la modificación de la cadena trófica en factores tanto bióticos como abióticos, como lo indica el informe presentado por la ONU (ONU, 2019).

Frente a los procesos de producción de la película biodegradable, se ve una gran coincidencia entre la información reportada de otros experimentos con la recolectada en campo, ya que, después de alcanzar altas temperaturas se evidencia una desnaturalización de las sustancias que componen el almidón, no permitiéndose la formación del bioplástico (Casarejos et al, 2018) , adicionalmente, se deben tener en cuenta propiedades como la temperatura de gelatinización del almidón, la cual se reporta en temperaturas cercanas a los 75°C (Pineda, Coral, Arciniegas, Rorales-Rivera, & Rodriguez, 2010) Que es el punto al que se debe llevar la mezcla de almidón y plastificantes con el objetivo de que se dé la reacción irreversible de polimerización.

Adicionalmente, como se puede ver en los estudios realizados por Ashok (2018), las películas biodegradables producidas a partir de diferentes mezclas de almidón tienen una tendencia a degradarse al ser expuestas a altas temperaturas y humedades, lo que se comprueba experimentalmente al someterse las pruebas a ambientes controlados en equipos de análisis de condiciones.

Otro aspecto importante por resaltar es la comprobación de la hipótesis planteada por Siqueira (2021) que menciona que los plásticos biodegradables se están convirtiendo en una necesidad, lo que se comprueba con los resultados de las encuestas donde se evidencia una creciente conciencia ambiental por parte de la población encuestada, siendo cada vez más viable que un producto de esta naturaleza sea aceptado comercialmente.

Así mismo, se podría estimar que perjudicaría reflejar el costo final drásticamente en los consumidores, sin embargo, según los resultados de la primera entrevista, la mayoría de los encuestados aseguraron estar dispuestos a pagar más de 500 pesos en el aumento del embalaje con tal de que se solucione la problemática ambiental, pues finalmente es una contribución por preservar una vida más allá de la simple supervivencia para las futuras generaciones (Li. L et al, 2021)

Conclusiones

La aplicabilidad de los residuos del mango como materia prima que sustituya a los polímeros tradicionales es una idea innovadora y bastante tangible debido al potencial que tiene Colombia, quien actualmente posee 17 de los 32 departamentos que dividen el territorio nacional aptos para cultivo de mango. Cabe resaltar y como se identificó a lo largo de este estudio que Colombia ha sido apetecido por el mercado internacional sobre todo USA y la UE con fines de exportación de mango, por lo cual podría innovarse más allá de la producción de la fruta completa y más bien aprovechar los residuos sólidos obtenidos desde la producción del mango hasta los posteriores canales antes de exportar, de manera que pueda desarrollar plásticos biodegradables y comenzar a ser también competitivos más allá del sector primario.

Adicionalmente, en materia de costos la producción de biopelículas a partir de la semilla del mango es muchísimo más rentable que la actual producción de biopelículas a partir de otros almidones como lo son el trigo y el arroz, cuyos cultivos son más exigentes en cuanto a cuidados y costos, a diferencia de estos almidones, el mango se da en casi todo el país por lo cual es bastante competitiva la idea, pudiendo extenderla a futuro hacia la investigación de otros posibles almidones.

Por otra parte, mediante la recolección de datos fue posible comprobar con información de primera mano las opiniones y conocimientos de los bogotanos quienes tienen una tendencia consumista para el plástico, no obstante, al entrar en reflexión sobre la problemática planteada en este estudio estuvieron de acuerdo en pagar un excedente adicional si las empresas usaran bioplásticos que en un principio fueran más costosos, comprendiendo que los beneficios serán a largo plazo, a su vez, mostraron desconocimiento en la cantidad de residuos sólidos generados al día en la ciudad, en donde también mostraron prioridad al precio por encima de la calidad cuando se trata de plásticos lo cual es coherente con el hecho de utilizar plásticos de un solo uso basado sobre una decadente economía lineal que necesita ser completamente circular pues de eso depende el desarrollo sostenible.

Finalmente, es importante resaltar la falta de normativas no solo para los consumidores sino también para las industrias a fin de que se limite la producción de plásticos de un solo uso, a su vez se incentive la producción de bioplásticos por ejemplo a partir de bonificaciones o reducciones en los impuestos al generar aportes importantes en materia de sostenibilidad, por ende, este proyecto es uno de los muchos que contribuyen a la rentabilidad y por ende debe continuarse con la investigación.

Referencias

- Ashok, A., Abhijith, R., & Rejeesh, C. R. (2018). Material characterization of starch derived biodegradable plastics and its mechanical property estimation. *Materials Today Proceedings*, 5(1), 2163–2170. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.09.214>
- Carranza, S., & Zavaleta, C. (2021). *Influencia del tipo y porcentaje de plastificante sobre la resistencia a la tracción, rigidez y la deformación de bioplásticos obtenidos a partir de almidón modificado y reforzado de Manihot esculenta crantz*. Universidad Nacional de Trujillo
- Casarejos, F., Bastos, C. R., Ru, C., & Frota, M. N. (2018). *Rethinking packaging production and consumption vis-a-vis _circular economy: A case study of compostable cassava starch-based material*. *Journal of Cleaner Production*, 201, 1019–1028. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.114>
- Chel, L., Barbosa, E., Martínez, A., González, E., & Betancur, D. (2016). Some physicochemical and rheological properties of starch isolated from avocado seeds. *International Journal of Biological Macromolecules*, 86, 302–308.

- Demicheli, M. (1996). Plásticos biodegradables a partir de fuentes renovables. *The IPTS Report*, 10(1), 1-10.
- FAO. (2011). Una introducción a los conceptos básicos de la seguridad alimentaria. Recuperado de: <https://www.fao.org/3/al936s/al936s00.pdf>
- Flores, C. E. (2009). Polímeros vs. plásticos. *Facultad de ingeniería-Universidad Rafael Landívar*, (14), 51-60. https://fgsalazar.net/LANDIVAR/ING-PRIMERO/boletin14/URL_14_MEC01.pdf
- Flores, P. (2020). View of the issue of plastic use during the Covid-19 pandemic. *South Sustainability*.
- Fundación Heinrich Böll & Break Free from Plastic. (2020). *El Atlas del Plástico 2019*. <https://co.boell.org/sites/default/files/2021-02/Plastic Atlas 2019 cambio.pdf>
- La Fuente, C., Tamyris, A., Tadini, C. C., & Esteves, P. (2019). Macromolecules Ozonation of cassava starch to produce biodegradable films ☆. *International Journal of Biological Macromolecules*, 141, 713–720. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.09.028>
- Li, L., Zuo, J., Duan, X., Wang, S., Hu, K., & Chang, R. (2021). Impacts and mitigation measures of plastic waste: A critical review. In *Environmental Impact Assessment Review* (Vol. 90). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2021.106642>
- Litchfield, S. G., Schulz, K. G., & Kelaher, B. P. (2020). The influence of plastic pollution and ocean change on detrital decomposition. *Marine Pollution Bulletin*, 158. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111354>
- Liu, H., Kumar, V., Jia, L., Sarsaiya, S., Kumar, D., Juneja, A., Zhang, Z., Sindhu, R., Binod, P., Bhatia, S. y Kumar, M. (2021). Biopolymer poly-hydroxyalkanoates (PHA) production from apple industrial waste residues: A review. *Chemosphere* (Vol. 284). <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.131427>
- L.M. Broeren, M., Kuling, L., Worrell, E., & Shen, L. (2017). Environmental impact assessment of six starch plastics focusing on wastewater-derived starch and additives. *Resources, Conservation & Recycling*, 246-255.
- Madrigal, J. F., & Shastri, R. (2011). *Manual de plásticos para diseñadores* (pp. 1–165). <http://evirtual.uaslp.mx/Habitat/innobitat01/CAHS/Artículos/MANUALES/Manual de Plásticos para diseñadores Shastri Corr 4.pdf>
- Milquez-Sanabria, H. A. A. (2017). Digestión anaerobia en dos fases, hidrólisis y metanogénesis, de la semilla de mango (*Mangifera indica*). *Publicaciones e Investigación*, 11(1). <https://doi.org/10.22490/25394088.2253>
- Moller, Rolf (2010). *PRINCIPIOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE PARA AMÉRICA LATINA*. Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente, (9),101-110. [fecha de Consulta 29 de agosto de 2021]. ISSN: 1692-9918. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=231116434012>
- ONU. (2019). Compromiso mundial para reducir los plásticos de un solo uso. Recuperado de: <https://news.un.org/es/story/2019/03/1452961>
- Pellis, A., Malinconico, M., Guarneri, A., & Gardossi, L. (2021). Renewable polymers and plastics: Performance beyond the green. In *New Biotechnology* (Vol. 60, pp. 146–158). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.nbt.2020.10.003>
- Percec, V., & Xiao, Q. (2020). From organic chemistry to chemical biology via macromolecules with Hermann Staudinger. In *Giant* (Vol. 4). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.giant.2020.100036>

- Perdomo, G. A. (2002). Plásticos y medio ambiente. *Revista iberoamericana polimeros*, 3(2), 1-13.
- Pineda, P., Coral, D., Arciniegas, M., Rorales-Rivera, A., & Rodriguez, A. (2010). Papel del agua en la gelatinización del almidón de maíz: estudio por calorimetría diferencial de barrido. *Ingeniería y ciencia*, 129-141.
- Punia Bangar, S., Kumar, M., & Whiteside, W. S. (2021). Mango seed starch: A sustainable and eco-friendly alternative to increasing industrial requirements. *International Journal of Biological Macromolecules*, 183, 1807–1817. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.05.157>
- Rico de Alonso. (s.f.). *Capítulo 4: Las categorías en la Investigación social*. Universidad Javeriana. Recuperado de: <https://www.javeriana.edu.co/blogs/mlgutierrez/files/Rico-de-Alonso-Et-al-CAP%C3%8DTULO-4-Categor%C3%ADAs1.pdf>
- Rodríguez Hernández, A. G. (2020). De los plásticos en el ambiente a los micronanoplásticos en nuestra mesa. *Revista Tamé*, 8, 24–24.
- Sampieri, R., Collado, C., Lucio, P., Valencia, S., & Torres, C. (2014). *Metodología de la investigación*. McGraw-Hill Education.
- Schwencke, S. A. (2018, 5 junio). Repositorio Digital - Sistema de Bibliotecas Universidad del Bio-Bio (SIBUBB): Tipología de los plásticos desechados en la comuna de Coronel. Tipología de los plásticos desechados en la comuna de Coronel. <http://repopib.ubiobio.cl/jspui/handle/123456789/2275>
- Seguí, L., Medina, R., & Guerrero, H. (2018). Gestión de residuos y economía circular. Recuperado de <https://cutt.ly/vyZgvJq>.
- Siqueira, L., La Fuente, C., Maniglia, B., Chierigato, B., & Tadini, C. (2021). Starch-based biodegradable plastics: methods of production, challenges and future perspectives. *Food Science*, 122–130. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2020.10.020>
- Shafqat, A., Al-zaqri, N., Tahir, A., & Alsalmeh, A. (2021). Synthesis and characterization of starch based bioplastics using varying plant-based ingredients, plasticizers and natural fillers. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 28(3), 1739–1749.
- Shafqat, A., Mahmood, A., Bari, A., Yasar, A., & Pugazhendhi, A. (2020). A review on environmental significance carbon foot prints of starch based bio - plastic: A substitute of conventional plastics. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*.
- Shahabii, I., Goudarzi, V., & Babaei, A. (2019). Production of starch-based biopolymer by green photochemical reaction at different UV region as a food packaging material: Physicochemical characterization. *International Journal of Biological Macromolecules*, 122, 201–209. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.10.154>
- Soares, J., Miguel, I., Venâncio, C., Lopes, I., & Oliveira, M. (2021). Public views on plastic pollution: Knowledge, perceived impacts, and pro-environmental behaviours. *Journal of Hazardous Materials*, 412, 125227. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.125227>
- Tosif, M., Najda, A., Bains, A., Zawislak, G., Maj, G. y Chawla, P. (2021). *Starch-Mucilage Composite Films: An Inclusive on Physicochemical and Biological Perspective*. *Polymers*, 13, 2588. <https://doi.org/10.3390/polym13162588>
- Vázquez Morillas, A., Velasco Pérez, M., Beltrán Villavicencio, M., & Espinosa Valdemar, R. M. (2014). *El reciclaje de los plásticos* (Issue May, pp. 1–12). <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4440.1527>