



**ANÁLISIS DE MATERIAS PRIMAS PARA LA ELABORACIÓN DE PLATOS  
BIODEGRADABLES**

Yudy Alexandra Ibañez Tovar

Universidad Antonio Nariño

Facultad de Ingeniería Ambiental

Bogotá, Colombia

2021

# **ANÁLISIS DE MATERIAS PRIMAS PARA LA ELABORACIÓN DE PLATOS BIODEGRADABLES**

Yudy Alexandra Ibañez Tovar

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniera Ambiental

Asesores:

Giovanni Sánchez Rojas

Juan Valderrama

Línea de investigación:

Gestión ambiental

Universidad Antonio Nariño

Facultad de Ingeniería Ambiental

Bogotá, Colombia

2021

## **Agradecimientos**

A mi familia Ibañez Tovar agradezco su amor, confianza y apoyo que me han brindado a lo largo de mi vida y de mi carrera; así como la fuerza y motivación para seguir adelante y superar cada obstáculo que he tenido.

A los docentes de la Universidad que han aportado con su conocimiento para mi crecimiento personal y profesional, en especial a la profesora Vanessa Rodríguez quien con sus conocimientos y carisma ha inculcado en mí, grandes valores.

A mis asesores Giovanni Sánchez y Juan Valderrama por su tiempo, dedicación y asesoría a lo largo de la elaboración de este trabajo.

## Tabla de contenido

1. Introducción .....	10
2. Objetivos.....	11
2.1 Objetivo General.....	11
2.2 Objetivos Específicos .....	11
3. Planteamiento del Problema .....	12
4. Justificación .....	15
5. Marco Conceptual.....	16
6. Estado del Arte .....	24
6.1 Técnicas para separación de materias primas.....	25
6.2 Técnicas de desinfección .....	25
6.3 Técnicas de formación de los platos biodegradables.....	26
6.4 Técnicas para observar la degradación de los productos .....	27
7. Metodología .....	36
7.1 Fase 1 Búsqueda de información .....	37
7.2 Fase 2 Selección de la información .....	37
7.3 Fase 3 Análisis de la información .....	37
7.4 Fase 4 Consolidado de la información.....	37
8. Resultados y discusión .....	38
8.1 Caracterización materias primas .....	38
9. Conclusiones .....	52

10. Recomendaciones .....	53
11. Referencias Bibliográficas.....	54
12. Anexos.....	58
12.1 Anexo 1.....	58
12.2 Anexo 2.....	58
12.3 Anexo 3.....	59
12.4 Anexo 4.....	59
12.5 Anexo 5.....	59

## LISTA DE TABLAS

<i>Tabla 1 Composición química de diferentes materias primas.....</i>	<i>39</i>
<i>Tabla 2 Parámetros para la puntuación de la matriz de análisis de materias primas para la elaboración de platos biodegradables</i>	
<i>.....</i>	<i>40</i>

## LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1 Proceso de la economía lineal .....</i>	<i>18</i>
<i>Figura 2 Proceso de la economía circular.....</i>	<i>19</i>
<i>Figura 3 Estructura de la hemicelulosa.....</i>	<i>21</i>
<i>Figura 4 Estructura de la celulosa.....</i>	<i>22</i>
<i>Figura 5 Estructura de la lignina.....</i>	<i>23</i>
<i>Figura 6 Patrón de pérdida de peso durante la inoculación de B. Cepacia.....</i>	<i>31</i>
<i>Figura 7 Patrón de pérdida de peso durante inóculos fúngicos mixto.....</i>	<i>32</i>
<i>Figura 8 Acumulación de metano en condiciones mesofílicas y termofílicas.....</i>	<i>33</i>
<i>Figura 9 Matriz de priorización.....</i>	<i>43</i>
<i>Figura 10 Matriz para el análisis de materias primas para la elaboración de platos biodegradables</i>	
<i>.....</i>	<i>45</i>
<i>Figura 11 Gráfica criterio de accesibilidad.....</i>	<i>46</i>
<i>Figura 12 Gráfica criterio de costo de materia prima.....</i>	<i>47</i>
<i>Figura 13 Gráfica criterio de producción.....</i>	<i>47</i>

<i>Figura 14 Gráfica criterio de costo de producción.....</i>	<i>48</i>
<i>Figura 15 Gráfica criterio de porcentaje de degradación.....</i>	<i>49</i>
<i>Figura 16 Gráfica criterio de tiempo de degradación.....</i>	<i>49</i>
<i>Figura 17 Gráfica criterio de impacto ambiental.....</i>	<i>50</i>
<i>Figura 18 Gráfica puntaje total.....</i>	<i>51</i>

## Resumen

Los desechables plásticos son productos elaborados a base de petróleo; éstos son uno de los productos que más contaminación genera tanto en sistemas acuáticos como en ecosistemas terrestres, pues muchas veces las personas los adquieren, los usan y los desechan sin tener en cuenta la larga vida útil que tiene cada uno, es decir no les dan una segunda vida útil; lo que genera que haya grandes acumulaciones de los mismos. Los plásticos se descomponen en materiales de menos de 5 milímetros conocidos como microplásticos, los cuales afectan la vida de animales acuáticos, y la salud de las personas.

Con el fin de disminuir la contaminación generada por estos productos, se dan a conocer 15 diferentes materias primas para la elaboración de platos biodegradables, las cuales son: cáscara de plátano, hojas de plátano, cascarilla de café, fibra de coco, cáscara de banano, hojas de achira, Acido Poliláctico (PLA), mezcla de PLA y fibra de banano, mezcla de PLA, fibra de banano y silicato, polietileno, mezcla de almidón y resina sintética, corchos de botella de vino, mezcla de PLA y almidón, corona de piña y harina de trigo. Estos platos se degradan entre 1 a 150 días dependiendo de la materia prima a implementar, con ello se recopiló información tanto de los procesos de formación, como del tiempo y porcentaje de degradación; así como la caracterización físico - química de cada materia prima. Finalmente, se elaboró una matriz para determinar cuáles de las materias primas abordadas son las mejores alternativas para la elaboración de los platos biodegradables.

**Palabras clave:** desechables plásticos, contaminación, materias primas biodegradables, economía circular, impacto ambiental y degradación.

## Abstract

Disposable plastics are petroleum-based products; these are one of the products that generate the most pollution in both aquatic systems and terrestrial ecosystems, because many times people acquire them, use them and discard them without taking into account the long useful life that each one has, that is, they do not give them a second useful life, which generates large accumulations of them. Plastics decompose into materials of less than 5 millimeters known as microplastics, which affect the life of aquatic animals and people's health.

In order to reduce the pollution generated by these products, 15 different raw materials for the production of biodegradable dishes are presented, which are: banana peel, banana leaves, coffee husk, coconut fiber, banana peel, achira leaves, Polylactic Acid (PLA), PLA and banana fiber mixture, PLA, banana fiber and silicate mixture, polyethylene, starch and synthetic resin mixture, wine bottle corks, PLA and starch mixture, pineapple crown and wheat flour. These plates degrade between 1 to 150 days depending on the raw material to be implemented, thus information was collected on the formation processes, time and percentage of degradation, as well as the physical-chemical characterization of each raw material. Finally, a matrix was prepared to determine which of the raw materials addressed are the best alternatives for the production of biodegradable plastics.

**Keywords:** disposable plastics, contamination, biodegradable raw materials, circular economy, environmental impact and degradation.

## 1. Introducción

Los plásticos son una de las principales problemáticas que amenazan la vida de muchas de las especies terrestres y acuáticas del mundo; pues desde el proceso de extracción de hidrocarburos para la elaboración de estos productos se genera contaminación tanto en suelos como en cuerpos hídricos (Carrillo, 2016). Ahora bien, una vez están en el mercado son adquiridos por millones de personas, las cuales en su mayoría hacen uso de estos productos una vez y luego los desechan sin tener en cuenta la larga vida útil de los plásticos, pues se sabe que estos tardan en degradarse entre 150 y 1000 años dependiendo del tipo de producto (Aymara Leon et al., 2019).

Para disminuir la problemática de los plásticos y lograr alcanzar cifras significativas para las metas de los ODS relacionados en el presente trabajo, se ha venido llevando a cabo la elaboración de diferentes productos biodegradables, entre ellos los platos biodegradables.

En este documento, se dan a conocer algunas de las materias primas que se han implementado para la fabricación de estos productos amigables con el medio ambiente, entre ellas se encuentran cáscara de plátano, hojas de plátano, cascarilla de café, fibra de coco, cáscara de banano, hojas de achira, ácido poliláctico (PLA), PLA mezclado con fibra de banano, PLA mezclado con fibra de banano y silicato, polietileno, una mezcla entre almidón y resina sintética, corchos de vino, PLA mezclado con almidón, corona de piña y harina de trigo.

Se realiza, una respectiva evaluación de cada materia prima haciendo uso de una matriz, en donde se estipulan diferentes criterios (accesibilidad, costo de la materia prima, producción, costo de producción, porcentaje de degradación, tiempo de degradación e impacto ambiental) y se determina que materias primas son más factibles para la elaboración de los platos biodegradables y por qué.

## **2. Objetivos**

### **2.1 Objetivo General**

- Analizar diferentes tipos de materias primas para la elaboración de platos biodegradables.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Establecer técnicas de diferentes procesos para la elaboración de platos biodegradables dependiendo de la materia prima a implementar (cáscara de plátano, hojas de plátano, cascarilla de café, fibra de coco, cáscara de banano, hojas de achira, Acido Poliláctico (PLA), entre otros.)
- Determinar cuáles de las materias primas abordadas tienen mayor potencial para el desarrollo de los platos biodegradables.

### 3. Planteamiento del Problema

Carrillo (2016) menciona que los hidrocarburos son compuestos químicos muy tóxicos, su extracción genera un gran impacto ambiental pues causa daños en la vida marina, contaminación en aguas subterráneas, en la flora y daña tierras fértiles, entre otras problemáticas. Dentro de sus características principales están que son hidrofóbicos y lipofílicos lo que hace que su degradación sea más compleja.

El uso de petróleo proviene desde el siglo IV a.C, sin embargo, desde el siglo XIX se empieza a realizar su explotación comercial como se conoce hoy en día. De este compuesto se derivan sustancias orgánicas como carbón, hidrocarburos y el gas natural, entre otros combustibles fósiles. En las industrias petroquímicas, por ejemplo, el uso de petróleo ha aumentado de manera significativa pues con éste se fabrican plásticos y fibras sintéticas entre otros objetos usados en la vida cotidiana de las personas (Lourdes Cornejo Arteaga, 2021). Con esto, entre más población haya, más uso se hará de productos plásticos y fibras sintéticas y mayor será la demanda de petróleo u otros combustibles fósiles; aumentando de igual manera los residuos de estos productos y las problemáticas ambientales que estos acarrearán.

Los productos plásticos tienen una gran demanda a nivel mundial; en una publicación realizada por Diaz (2020) en 1950, por ejemplo, la producción de plástico fue de 1,5 millones de toneladas métricas. Ya para el año 2018 esta cifra pasa a ser de 359 millones de toneladas métricas. Lo anterior puede deberse a que su proceso de fabricación es hacedero, pues estos productos son de fácil moldeo usando altas temperaturas (200°C) y presiones las cuales oscilan entre 553 bar siendo la más baja y 778 bar siendo la más alta (Designing Successful Products with Plastics, 2018), por tanto, su costo en el mercado es bajo y son productos asequibles. Sin embargo, en su costo no se ve reflejado el costo ambiental (contaminación) y social (mano de obra barata).

Ahora bien, a nivel mundial las cifras de residuos sólidos aumentan de formas alarmantes; en Colombia, por ejemplo, según una investigación realizada por la (MASP) Clínica Jurídica de Medio Ambiente y salud publica (2019) la generación de residuos sólidos para el año 2017 fue de 10.3 millones de toneladas según datos de la Superintendencia de Servicios Públicos. Bogotá para este mismo año produjo alrededor de 2.2 millones de toneladas de residuos sólidos, de los cuales el 56% corresponde a plásticos de un solo uso. Agregando también que según estadísticas y según los datos anteriormente mencionados, “cada colombiano consume 24 kilos de plástico al año, es decir, 1’250.000 toneladas anuales y al menos el 56 por ciento son plásticos de un solo uso” (Gallo, 2019); esto genera que se sobrecarguen los rellenos sanitarios y contribuye a que gran parte de estos residuos se trasladen a mares y océanos, formando así las llamadas islas de plástico de las cuales hasta el día de hoy se conocen 7 de estas: *Sargassi Garbage Patch*, *Artic Garbage Patch*, *Indian Ocean Garbage Patch*, *South Atlantic Garbage Patch*, *North Atlantic Garbage Patch*, *South Pacific Garbage Patch*, *Great Pacific Garbage Patch* (Trabucchi, 2019).

Adicional a esto, “cada año entran en los océanos entre 7,8 y 8,2 millones de toneladas de plásticos desechados” (Calabro et al., 2020), que al pasar el tiempo se descomponen en microplásticos, los cuales también generan grandes problemas, siendo uno de ellos que, al estar presentes en el mar, los animales acuáticos los consumen como si fuera alimento, por ejemplo, las ballenas, focas, las tortugas y aves marinas, entre otras especies afectadas, consumen estos desechos los cuales “causan obstrucciones intestinales y merman sus ganas de comer, lo cual recorta su crecimiento y rendimiento reproductivo. Con el estómago lleno de plástico, algunas especies dejan de alimentarse y mueren” (Royte, 2019). Otro ejemplo son los peces quienes consumen grandes cantidades de microplásticos y posteriormente muchos de estos peces son consumidos por los humanos, lo cual hace que dichos residuos hagan parte de la cadena

alimenticia del ser humano causando así enfermedades como cáncer o malformaciones congénitas y puede interferir en el desarrollo cerebral de fetos y niños (Royte, 2019).

Dentro de los plásticos de un solo uso y de los que más abundan en el mundo, se destacan los desechables (platos, cubiertos, vasos, etc.), de los cuales en la mayoría de poblaciones que hacen uso de estos, no practican actividades de reciclaje o reintegración de estos residuos nuevamente a la vida, es decir, no les dan un segundo uso y no aprovechan su largo ciclo de vida, pues se sabe que los plásticos tardan entre 150 a 1000 años en degradarse, dependiendo del tipo de producto (Aymara Leon et al., 2019).

Adicional a esto se suma otra problemática, pues un informe del Centro de Derecho Internacional del Medio Ambiente, menciona que para el año 2019 se tenía previsto la incineración de grandes cantidades de plástico la cual añadiría “850 millones de toneladas métricas de gases de efecto invernadero, lo que equivale a la contaminación producida por 189 centrales de carbón” (Gallo, 2019), incrementando así de otra forma la contaminación del medio ambiente.

También se destaca otro de los grandes problemas del plástico, y es que a estos productos no se le da un aprovechamiento a su ciclo de vida, es decir, se practica una economía lineal (Extracción, producción, distribución, compra, uso y desecho), agregando además que:

en Colombia, y en otros países en desarrollo de América Latina y el Caribe y también en África, los problemas son aún peores porque la regulación es débil, los políticos no están realmente interesados y también porque las estadísticas de residuos no son bien conocidas” (Rua Restrepo et al., 2019), lo cual hace que no se logre una solución bien estructurada a esta problemática.

Basado en fuentes bibliográficas ¿Cuáles de las materias primas expuestas en el presente trabajo serían las mejores alternativas para la elaboración de los platos biodegradables?

#### 4. Justificación

El presente trabajo tiene como fin dar a conocer estudios actualizados de diferentes materias primas (cáscara de banano, harina de trigo, hojas de plátano y de achira, cascarilla de café, fibra de coco, PLA, entre otros ) para la elaboración de platos biodegradables, con el fin de dar a conocer nuevas alternativas que reemplacen los desechables tradicionales y así evitar la acumulación continua de estos productos en ecosistemas terrestres y acuáticos y de igual manera implementar una economía circular como acción para “preservar y hacer sustentables los recursos disponibles del planeta Tierra” (Rua Restrepo et al., 2019), mencionando también que esta economía contribuye al desarrollo sostenible y a la economía verde.

Se pretende dar información concisa y detallada de estrategias que se han venido implementando tanto a nivel nacional como internacional, para cumplir con legislación o normativas propuestas por el Estado para los productos plásticos de un solo uso, contribuyendo así, con la disminución del impacto ambiental y favoreciendo el desarrollo sostenible que se ha venido implantando a nivel mundial.

Con lo anterior, se plantea como ejemplo la propuesta de Juan Carlos Lozada Vargas, representante a la Cámara, quien busca la aprobación de un proyecto de ley que tiene como objetivo “prohibir en el territorio nacional a partir del año 2030, la fabricación, importación, venta y distribución de plásticos de un solo uso” (Cely Silva et al., 2019). Para el año 2019, esta ley tuvo la aprobación del primer debate ante la comisión quinta de la cámara de representantes; sin embargo, falta la aprobación de tres debates restantes.

El planteamiento de los Objetivos de desarrollo Sostenible, es otro ejemplo que se trae a colación. Los ODS están incorporados en la agenda aprobada por países o miembros de la ONU. Dentro de los objetivos a tener en cuenta para la elaboración de este trabajo están los siguientes: Objetivo N. 3, el cual es salud y bienestar, pues como se menciona anteriormente, los microplásticos generan enfermedades como el cáncer. Otro objetivo es el N. 6, el cual es llamado

agua limpia y saneamiento, pues se señala que los plásticos y microplásticos están presentes en grandes cuerpos hídricos impidiendo así, que el agua se encuentre en condiciones óptimas para su consumo o haciendo que su tratamiento sea más complejo para el posterior consumo humano. Otro objetivo, es el N. 12 el cual habla sobre la producción y el consumo responsable, esto teniendo en cuenta que los productos plásticos son uno de los productos más usados, principalmente por su costo económico en el mercado y que estos proyectos mencionados se han realizado con el fin de disminuir el uso de plásticos de un solo uso y promover el uso productos elaborados a base de otras materias primas biodegradables, incentivando así una economía circular, u economía verde. Finalmente están los objetivos N. 14 y N. 15, denominados vida submarina y vida de ecosistemas terrestres respectivamente; se hace alusión a estos objetivos, pues los residuos sólidos de plásticos son una de las problemáticas más grandes a las cuales se enfrentan estos ecosistemas, pues se han visto muchos animales marinos o terrestres afectados por pitillos, botellas, o microplásticos los cuales son ingeridos como alimento por muchas especies; entre otros productos.

## **5. Marco Conceptual**

Durante mucho tiempo se ha venido tratando el término de hidrocarburos, siendo éstos compuestos orgánicos formados por la unión de hidrógeno y carbono. Se clasifican en dos tipos: alifáticos y aromáticos. Los hidrocarburos alifáticos a su vez se dividen en tres subgrupos, los cuales son: alcanos, alquenos y alquinos (Prada Cadavid, 2016). Las características principales de estos compuestos es que son hidrofóbicos y lipofílicos, las cuales hacen que no sean fáciles de degradar. Dentro de los hidrocarburos se destacan los combustibles fósiles que se pueden encontrar en la naturaleza en los tres estados físicos: solido (ej: carbón), líquido (ej: petróleo) y gaseoso (ej: gas natural). Ahora bien, según Carrillo (2016) la extracción de estos compuestos es de gran impacto ambiental pues causa daños en la flora, en ecosistemas marinos, contamina aguas subterráneas, afecta tierras fértiles, entre otras problemáticas.

A nivel mundial, la extracción y el uso de estos compuestos ha ido aumentando, en una publicación realizada por la Presidencia de la república (2020) en Colombia, la producción de gas para el año 2019 tuvo un aumento del 9,5% en comparación al año anterior en el cual se produjeron 977 mpcpd (millones de pies cúbicos promedio día), mientras que el petróleo tuvo una producción de 885.851 barriles promedio día, en comparación con el año anterior que fue de 865.127, es decir que tuvo un aumento de producción del 2,4%. En cuanto al uso, en las industrias petroquímicas este ha aumentado para la fabricación de plásticos.

El plástico, se consideran como “un grupo de materiales, sintéticos o naturales, que pueden moldearse cuando están blandos y luego endurecerse para conservar la forma dada. Los plásticos son polímeros” (Science History Institute, 2021). Adicional a esto son productos muy económicos, lo cual hace que su uso sea cada vez mayor.

En los procesos de producción de plástico (extracción, refinamiento, fundido, cilindrado, prensado, estirado, moldeado, eliminación, etc.), se destacan la extracción, refinamiento y eliminación, los cuales se llevan a cabo en una planta de carbón de 189 a 500 megawatts y que son “propios de la producción y de la incineración del plástico que pueden llegar a emitir 850 millones de toneladas métricas de gases de efecto invernadero” (Clínica Jurídica de Medio Ambiente Y salud publica (MASP), 2019), aumentando así la problemática ambiental actual en cuanto al calentamiento global; sin mencionar que luego de que ya están disponibles en el mercado se hace uso de estos solo unos minutos y luego de desecharlos, muchas veces sin tener en cuenta que los plásticos tardan entre 150 a 1000 años para degradarse dependiendo del tipo de producto plástico.

Cuando estos productos plásticos se descomponen, se convierten en microplásticos los cuales son partículas de menos de 5 milímetros de tamaño. Éstos contaminan grandes ecosistemas tanto terrestres como acuáticos, pues según investigaciones alrededor “136.000 toneladas de microplásticos soplan en tierra con la brisa marina cada año” (Dybas, 2020). En

general estos están en todas las partes del mundo, pues se generan en la vida diaria al romper un plato plástico o abrir una bolsa de plásticos, entre otras actividades; permaneciendo en el ambiente y llegando a las personas y a otros seres vivos (Dybas, 2020), generando afectaciones en la vida de éstos.

### Figura 1

#### *Proceso de la economía lineal*



Fuente: Autoría propia

El consumo de la mayoría de estos productos plásticos está basado en una economía lineal la cual consta de las fases que se evidencian en la figura 1.

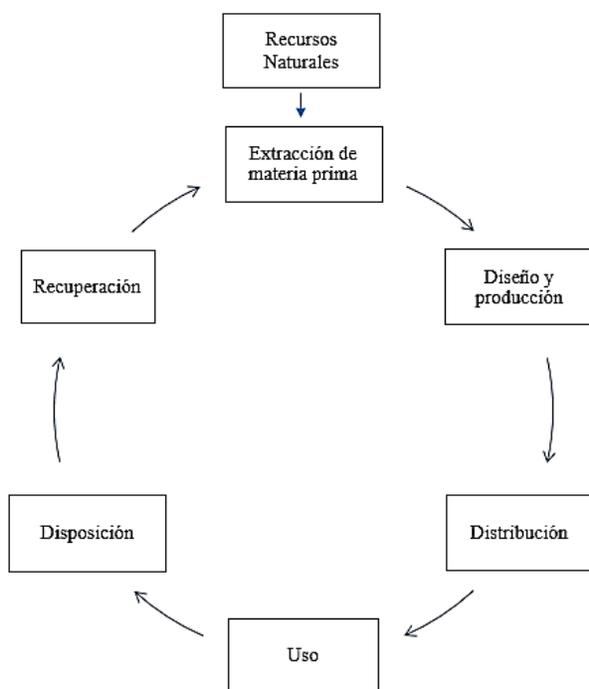
La extracción de recursos naturales o materias primas en donde muchos de éstos no son renovables. La producción en donde las materias primas tienen transformaciones en donde la mayoría de éstas hacen uso de sustancias químicas y habitualmente se generan subproductos contaminantes o tóxicos que a su vez alteran los ciclos naturales. La distribución tiene como problema que los precios de los productos no reflejan el costo real de los mismos pues no se tiene en cuenta el aspecto ambiental (la contaminación) y social (la mano de obra barata) de los mismos, en la compra y el uso, el problema es la obsolescencia programada en donde la vida útil de los productos cada vez es más corta. Finalmente está el desecho de los productos, el cual cada vez aumenta más y más sin tener en cuenta la problemática de esta economía.

Ahora bien, se han propuesto diferentes estrategias para disminuir la problemática que trae consigo la economía lineal y dentro de esta la problemática generada por residuos plásticos y microplásticos. Esta es la aplicación de una economía circular la cual “se basa en los principios

de eliminar los residuos y la contaminación, mantener los productos y materiales en uso y regenerar los sistemas naturales” (Ellen Macarthur Foundation, 2021).

## Figura 2

*Proceso de la economía circular*



Modificada de: Vásquez Mackenzie & Velastegui Araujo (2020)

En la figura 2 se puede observar el modelo de la economía circular.

Otra estrategia a implementar es la economía verde, la cual el PNUMA la define “como aquella que resulta en un mejoramiento del bienestar humano y la equidad social, mientras se reducen los riesgos ambientales y las carencias ecológicas” (Minambiente, 2021), es decir, que es el conjunto de acciones de producción que tienen en cuenta el medio ambiente y la sociedad. Este tipo de economía se espera implementarlo en todos los lugares del mundo, con el fin de disminuir el impacto ambiental que muchas veces generan las actividades económicas que se implantan en los mismos, generando así una economía sostenible basada en las necesidades

de cada lugar. Adicionalmente, este tipo de economía “produce bajas emisiones de carbono, utiliza los recursos de forma eficiente y es socialmente incluyente” (Vásquez Mackenzie & Velastegui Araujo, 2020)

Teniendo en cuenta tanto la economía circular y la economía verde, se plantea hacer uso de productos ya existentes pero que posiblemente han sido desechados. Una publicación realizada por Degren (2020) menciona que el ecodiseño es conocido como diseño ecológico o diseño para el medio ambiente según la Norma ISO 14006 la cual trata sobre sistemas de gestión ambiental y directrices para la incorporación del ecodiseño. El ecodiseño es la “integración de aspectos medioambientales en el diseño del producto con el objetivo de mejorar el comportamiento medioambiental del mismo a lo largo de todo su ciclo de vida” (Malcolm, 2017), disminuyendo la producción de productos convencionales, en este caso platos plásticos, y a su vez su impacto ambiental.

La Escuela Europea de excelencia (2018) define el impacto ambiental, como cualquier alteración o cambio que se realiza al medio ambiente, ya sea este positivo o negativo, producido por productos, servicios o actividades de una empresa, esto mencionado en la ISO 14001 del 2015, la cual establece también etapas para identificar los impactos que genera un producto.

Finalmente, se propone hacer uso de materias primas biodegradables con el fin de disminuir problemáticas ambientales actuales asociadas a los plásticos. Mencionado lo anterior, la biodegradación se define como el proceso por el cual se degradan sustancias u otros productos haciendo uso de organismos eucariotas como hongos, algas unicelulares, plantas, entre otros y organismos procariotas como las bacterias. Estos organismos hacen de un compuesto altamente toxico, uno menos toxico; es decir que sirven como neutralizadores de sustancias toxicas. Estas materias primas al ser biodegradadas “se descomponen en CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>O, compuestos inorgánicos o biomasa” (Kalita et al., 2021).

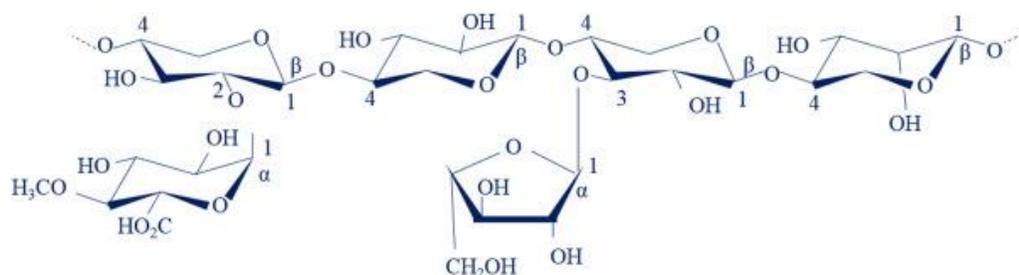
Guce (2018) menciona que los beneficios que trae consigo el uso de desechables biodegradables, en este caso los platos, los cuales son sostenibles y amigables con el medio ambiente, no genera gases de efecto invernadero, no dejan residuos químicos tóxicos, se degradan en menos tiempo que los platos convencionales de plástico, sus residuos se pueden usar como compostaje y posteriormente como nutrientes o abono para el suelo. Adicional a esto también reduce la generación de microplásticos, la contaminación de los océanos evitando la destrucción de arrecifes de coral y la muerte de numerosos animales acuáticos, también la contaminación en ecosistemas terrestres y reduce la sobrecarga de los rellenos sanitarios (Painter, s.f.).

Para determinar la degradación de las diferentes materias primas, se analiza su composición química en donde se hace énfasis en la hemicelulosa, la celulosa y la lignina.

La hemicelulosa es un polisacárido compuesto por la unión de glucanos. De la hemicelulosa se pueden obtener xilosa, furfural y ácido láctico, entre otros compuestos, los cuales hoy en día se usan en la industria para la fabricación de productos. Por ejemplo, el ácido láctico se usa para la elaboración de bioplásticos (National Nanotechnology Center of Thailand, s.f.).

### Figura 3

*Estructura de la hemicelulosa*



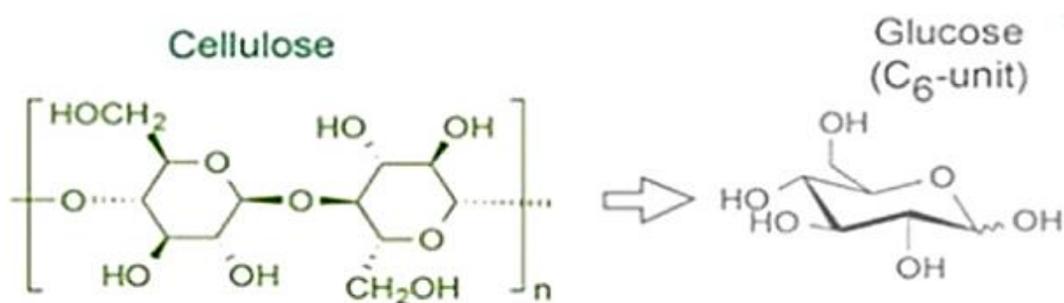
Tomado de: (Benaimeche et al., 2020)

En la figura 3 se puede observar la estructura de la hemicelulosa, siendo esta una composición sencilla, lo cual permite que su degradación sea más sencilla, comparada con otros materiales lignocelulósicos como la lignina.

Por otra parte, la celulosa está compuesta por la unión de moléculas de glucosa; de este polímero se pueden obtener compuestos como azúcares, ácido levulínico, ácido furandicarboxílico, entre otros (National Nanotechnology Center of Thailand, s.f.). Al igual que la hemicelulosa, estos compuestos también se usan para la fabricación de productos como textiles, productos industriales, de transporte, etc. (Bioenarea, 2021).

#### Figura 4

*Estructura de la celulosa*



Tomada de: (Li et al., 2019)

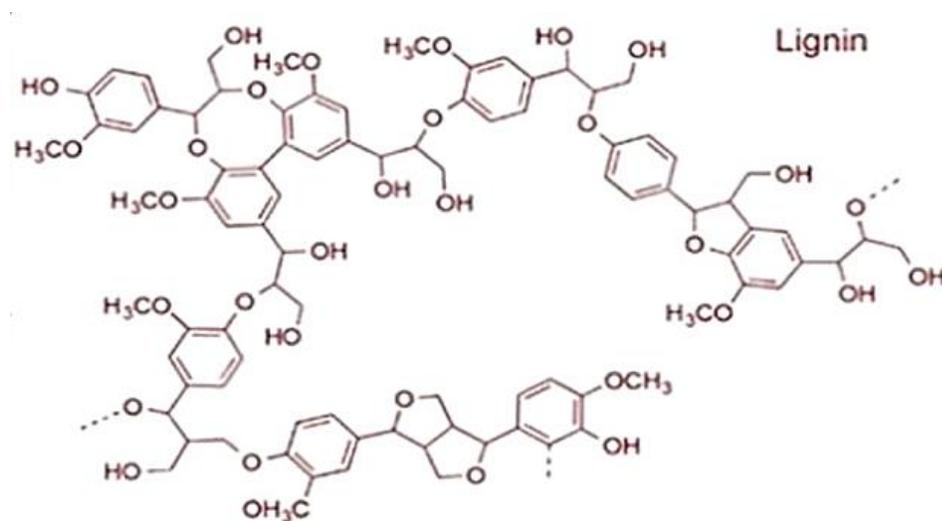
En la figura 4, se puede observar la estructura de la celulosa, siendo esta una unión de moléculas de glucosa como se mencionó anteriormente. “Todo ello forma una estructura cristalina resistente a la hidrólisis y una región amorfa susceptible a la degradación enzimática” (Santos Bacariza, 2016).

Se encuentra también la lignina, la cual es un polímero complejo, compuesto en su mayoría por anillos bencénicos, los cuales dificultan la degradación de este elemento, en comparación con la celulosa y la hemicelulosa. De este polímero se pueden obtener compuestos

como el ácido levulínico y el furfural; cabe mencionar que este último compuesto en grandes cantidades es un producto tóxico (Bioenarea, 2021).

## Figura 5

### Estructura de la lignina



Tomada de: (Li et al., 2019)

En la figura 5 se puede observar la estructura de la lignina la cual es un heteropolímero amorfo, con una estructura tridimensional, también se pueden observar los anillos bencénicos. “Ofrece soporte estructural y resistencia a la degradación enzimática, debido a su naturaleza recalcitrante” (Santos Bacariza, 2016).

Finalmente, se hace mención del ácido Poliláctico o PLA que se obtiene de la fragmentación de la hemicelulosa, específicamente de uno de los subproductos de este compuesto el cual es la xilosa. Es un polímero biodegradable, compostable y no tóxico. Puede considerarse como uno de los productos más asequibles por su bajo costo, además de ser una alternativa considerada por la industria para sustituir productos elaborados a base de petróleo. “El PLA tiene algunas deficiencias, como baja resistencia al fundido, baja velocidad de

cristalización, alta fragilidad, y baja temperatura de servicio, que limitan sus aplicaciones” (Nofar et al., 2019). Para superar estas limitaciones, se propone mezclar este polímero con biomateriales naturales para favorecer su tiempo de degradación y los costos. Sin embargo, tiene beneficios para el envasado de alimentos como el brillo y la barrera de aroma, entre otras. De igual manera este material ya está aprobado para el contacto directo con los alimentos (Gadhav et al., 2018).

Gomez Gutierrez (2016) menciona que el desarrollo sostenible se basa en realizar buenas prácticas de gestión para satisfacer necesidades culturales, sociales, económicas y ambientales de generaciones actuales sin afectar la disponibilidad de recursos de generaciones futuras. Para el año 2015 se crean los 17 objetivos del desarrollo sostenible “para poner fin a la pobreza, proteger el planeta y garantizar que todas las personas gocen de paz y prosperidad para 2030” (Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo, 2021). Los objetivos mencionados son: fin de la pobreza; hambre cero; salud y bienestar: educación de calidad; igualdad de género; agua limpia y saneamiento; energía asequible y no contaminante; trabajo decente y crecimiento económico; industria innovación e infraestructura; reducción de las desigualdades; ciudades y comunidades sostenibles; producción y consumo responsable; acción por el clima; vida submarina vida de ecosistemas terrestres; paz, justicia e instituciones sólidas; y alianzas para lograr los objetivos.

## **6. Estado del Arte**

A partir de la gran problemática que generan los productos desechables plásticos, surgen nuevas alternativas con el fin de disminuir la contaminación en cuerpos hídricos y terrestres y las afectaciones que provocan especies de estos ecosistemas, así como a la salud humana. Dichas alternativas consisten en la búsqueda de nuevas materias primas que sean amigables con el medio ambiente para la producción de productos desechables como lo son los platos.

Principalmente, se identifican las técnicas usadas para llevar a cabo la elaboración de nuevos platos a base de materias primas biodegradables.

### **6.1 Técnicas para separación de materias primas**

En esta técnica se destacan procesos de trituración el cual consiste en reducir el tamaño de las materias primas con el fin de facilitar la formación de los nuevos productos y el proceso de secado y separación del polímero.

Con lo anterior, se tiene un estudio en el cual se plantea hacer uso de la cascara de plátano en donde la materia prima de dicho plato sería en su mayoría almidón y fibra. Estudiantes de la Universidad Nacional de Colombia (2020) realizan la descripción del proceso para la obtención de dicho producto, el cual consiste en:

Extraer el almidón de la pulpa del plátano en un proceso de secado y separación del polímero mediante el uso de ácido cítrico. Esto resulta en una harina que, al ser sumergida en agua, permite la decantación del almidón. La fibra se obtiene del pseudotallo de la planta de plátano y su extracción consiste en triturar y calentar este elemento en una solución de soda cáustica durante 30 minutos, para luego ser filtrada y darle reposo. Así, se obtiene una fibra que se blanquea con agua oxigenada para darle un mejor aspecto. Teniendo estos dos elementos, el bioplástico se elabora mezclando el almidón, la fibra, agua y una sustancia plastificante, como la glicerina, para darle consistencia al producto

Adicional a esto, los estudiantes mencionan que el tiempo de degradación de estos productos estaría entre 60 a 70 días, agregando también que se puede hacer uso de los mismos dos veces. (Universidad Nacional de Colombia, 2020).

### **6.2 Técnicas de desinfección**

Montaño Montaño (2020) realiza una descripción de las técnicas de desinfección de las cuales se tienen en cuenta el agua para hacer una desinfección previa de las materias primas

eliminando contaminantes como insectos, tierra u otros elementos. Se emplea también el agua caliente pues al hacer un lavado con ella, baja la carga microbiana que hay en las materias primas; y finalmente los rayos ultravioletas, los cuales “proporciona una inactivación rápida y eficaz de microorganismos a través de un proceso físico” (Trojan Technologies, 2021), cuando los microorganismos como bacterias, virus o protozoos se exponen a las ondas de la luz ultravioleta, se vuelven incapaces de reproducirse e infectar.

### **6.3 Técnicas de formación de los platos biodegradables**

Como técnicas de formación de los platos biodegradables, se encuentra la termo-compresión proceso que “consiste en calentar y aplicar presión térmica y mecánica” (Niaounakis, 2017) para compactar o unir dos o más materiales o partículas de un mismo material a través de un termocompresor, cabe mencionar que para este proceso las temperaturas varían entre 100°C a 200°C.

Ahora bien, tanto para las técnicas de desinfección como para las técnicas de formación de los platos biodegradables, se hace alusión al estudio realizado por Muñoz (2020) en donde se fabrican dichos productos a base de hojas de plátano, este proyecto se lleva a cabo en Manizales; la empresa que elabora estos productos es conocida como Plateco. Ellos cuentan con su propio cultivo y en el producen la materia prima. En el proceso de fabricación primero se seleccionan las hojas que no estén secas, es decir que su porcentaje de humedad esté entre 60% y 70%; las hojas deben estar tiernas y firmes. Después se lavan con agua limpia y se sitúan en agua caliente. Luego de realizar una primera desinfección de las hojas, se elaboran los platos con una máquina de termo-compresión que compacta la materia prima dándole resistencia y forma al plato y finalmente se realiza otra desinfección con rayos ultravioleta. Según ensayos de pruebas y error, estos platos se pueden usar de dos a tres veces y luego de ser usados se esperan 120 días y se reincorporan al suelo en forma de abono.

Otro estudio realizado, es aquel en el cual se hace uso de cascarilla de café y ácido poliláctico (PLA) el cual se usa en concentraciones del 25 a 45%. Para éste se diseñó y se fabricó un sistema de termo-compresión (Ver anexo 1) para formar los platos: “se realizaron pruebas de compresión, temperatura y tiempo para la cascarilla de café en polvo y el PLA para determinar los rangos de datos de las variables tiempo de compresión y temperatura de conformado” (Cely Silva et al., 2019). Se hicieron diseños de los platos en CAD (Diseño Asistido por Computadora o en inglés Computer-Aided Design) y CAE (ingeniería asistida por ordenador o en inglés Computer-Aided Engineering) para la comprobación y aprobación de los usuarios. Al hacer la investigación de aprovechamiento de los residuos de la producción de café, se determinó que el 57% corresponde a celulosa, lo cual beneficia al producto para obtener una degradación más sencilla. Con lo anterior, se realiza una “mezcla homogénea entre 70 % de cascarilla de café pulverizada, y 30 % de ácido poli-láctico en presentación de polvo” (Cely Silva et al., 2019). Finalmente, luego de pruebas de ensayo y error, el mismo autor establece que “el rango de temperatura para el conformado de los platos es de 180 °C – 200 °C”; logrando así la fabricación de platos que se degradan entre 45 y 60 días.

#### **6.4 Técnicas para observar la degradación de los productos**

En cuanto a las técnicas usadas para determinar el tiempo y porcentaje de degradación de cada materia prima, se tienen en cuenta procesos como exponer los productos a la intemperie, lo que significa que se deja expuestos a condiciones naturales del medio, es decir bajo la lluvia y el sol. El compostaje, es el “es el proceso natural de reciclaje de materia orgánica, como hojas y restos de comida” (Hu, 2020), en este proceso se involucran algunos organismos de descomposición como gusanos y cochinillas los cuales ayudan a la descomposición de la materia orgánica, el resultado de esta materia descompuesta es llamada abono y se usa como nutriente para suelos fértiles. Finalmente, está la degradación microbiana la cual consiste en la degradación o descomposición de la materia orgánica haciendo uso de microorganismos.

Dentro de los estudios que hacen uso de alguna de estas técnicas, se tiene el ejemplo en donde estudiantes de la Universidad Tecnológica de Panamá realizaron el diseño de platos biodegradables a base de fibra de coco y cascara de banano con el fin de comparar cuál de los dos productos tendrían menos tiempo de degradación. Para esto, hicieron una caracterización de cada producto, en donde se obtuvo lo siguiente: de la cascara de plátano, “el principal subproducto es la cáscara, la cual representa aproximadamente el 30% del peso del fruto, este residuos es rico en fibra dietética, proteínas, aminoácidos esenciales, ácidos grasos polinsaturados y potasio” (Cubilla et al., 2019). Adicional a esto se ha venido implementando también para la obtención de productos como el metanol, etanol, pectinas y enzimas. Por otra parte, la fibra de coco se caracteriza por ser un material resistente que tiene alta durabilidad y gran capacidad de aislamiento térmico y acústico (Cubilla et al., 2019). Una vez identificando las características de cada materia prima, se realiza la elaboración de los platos.

Para esto, se realiza lo siguiente: se corta la materia prima (cascara de plátano y fibra de coco); se muelen ambas materias primas por separado; se pesan; se añade una proporción de agua y se licua, de igual manera cada materia prima por separado; se cuela la mezcla con el fin de separarla del exceso de agua que se obtiene; al tener cada producto licuado y colado, se pone en diferentes moldes; luego de forma manual se ejerce presión para que la mezcla se compacte; posterior a esto, para cubrir las mezclas, se añade glicerina de uso alimenticio y fécula de maíz, se hierve cada una por dos minutos y se mezcla constantemente, finalmente se deja secar por 12 horas y se retira el molde, quedando los platos biodegradables listos para su uso. Luego de esto, se dejan expuesto al sol y la lluvia, observando que después de dos meses, el material que primero se degradó fue el plato elaborado con cascara de plátano, esto teniendo en cuenta que el coco tiene en sus características la resistencia y durabilidad, adicional a esto cuando se degrado la cascara de plátano, se comprobó que el material degradado presentaba

un olor poco perceptible (Ver anexo 4). Mientras que la fibra de coco tardo 150 días, pero tiene una degradación parcial del 70% (Cubilla et al., 2019).

La elaboración de una vajilla biodegradable a base de hoja de achira, es otro ejemplo, en donde se menciona que el ciclo de vida de esta materia prima es circular, pues se reincorpora nuevamente al ambiente en forma de compost o alimento para animales.

Para la elaboración de estos platos se hizo en un primer momento la desinfección de las hojas con agua principalmente y luego se ponen en agua caliente; luego de esto, las hojas se situarían en un molde y posterior a esto se ubican en un horno durante 10 minutos para que de esta manera el calor facilite el moldeo de las hojas. Finalmente, se realizaron pruebas en el laboratorio en donde se analizó que “las características que obtendría la vajilla biodegradable donde la temperatura soportada es hasta 60°C. Tiene la capacidad de contener líquidos y sólidos sin ser derramados. El tiempo de vida útil es de 28 a 30 días” (Vásquez Mackenzie & Velastegui Araujo, 2020), siendo este un tiempo de degradación bastante bajo en comparación con otras materias primas ya abordadas.

Ahora bien, el siguiente estudio se hace uso del PLA, en donde este polímero se mezcla con fibra de banano para la fabricación de desechables. Para ver la degradación de dicho producto se realizaron diferentes pruebas tanto del polímero y la mezcla con la fibra de banano. La primera de ellas consta de dejar el producto “expuesto a condiciones de intemperismo acelerado en un meteorómetro” (Jandas et al., 2019), se realiza también un estudio en donde se ponen los tres productos en composteras, las cuales se preparan a partir de desechos vegetales mezclado con un compost maduro de dos meses y finalmente, se expone a la degradación “bajo inóculos microbianos específicos como el medio *Berkholdaria Cepacia* (*B.Cepacia*) y los medios fúngicos mixtos” (Jandas et al., 2019).

Se determinó que los materiales producidos con la mezcla de PLA y fibra de banano tienen poca estabilidad térmica y poca resistencia a la humedad, para superar estas problemáticas se propone reforzar dichos productos con nanomateriales como el silicato, es decir que para este estudio se realizó una comparación entre un producto con PLA virgen (V-PLA), el biocompuesto (PLA /Si69-BF) que es la mezcla de PLA y fibra de banano y el bio-nanocompuesto (PLA / SI69BF / C30B) ,mezcla de PLA, fibra de banano y silicato.

Para el proceso de intemperismo acelerado el cual se realizó durante 5 días, “el ciclo consta de 18 h de luz con intervalos alternos de 102 min de luz solamente seguidos de 18 min de luz con agua pulverizada” (Jandas et al., 2019); seguido de 6 horas de oscuridad sin agua pulverizada y se mantiene una temperatura de 165°.

Para el proceso de compostaje, se mantuvo una temperatura de 27° con pH entre 7,6 y 7,8 en las tres muestras con los tres materiales. Adicional a esto se menciona que para determinar la actividad de degradación se deberá medir la cantidad de CO<sub>2</sub> que hay en las cámaras “basándose en el hecho de que el contenido de carbono de la cadena principal del polímero se convierte en CO<sub>2</sub> como resultado del proceso de bioasimilación” (Jandas et al., 2019); con esto se realizan mediciones constantes del pH del medio pues el CO<sub>2</sub> tiende a volverlo ácido.

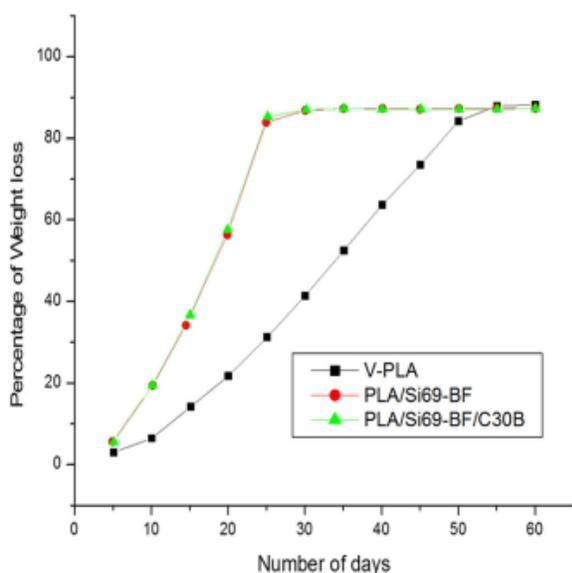
Para la actividad microbiana en donde se hace uso de *Berkholdaria cepacia* (*B.cepacia*), se mantiene una temperatura de 25°, mientras que para los inóculos fúngicos mixtos “se transfirieron esporas fúngicas selectivas a matraces cónicos de 250 ml llenos de 100 ml de solución de PDB” (Jandas et al., 2019). Para ambos procesos se tiene en cuenta el peso tanto inicial como el final de los productos para así determinar la degradación de los materiales.

En los resultados de este estudio se obtuvo que, para el proceso de compostaje, los biocompuestos y los bio-nanocompuestos, tienen una degradación óptima después de 50 a 55 días, mientras que el PLA virgen tarda entre 80 a 90 días, lo cual puede deberse a la naturaleza

hidrófoba de este polímero que impide que los microorganismos puedan penetrar fácilmente. Cabe mencionar que para lograr la degradación del PLA se incorporó BF dentro de su matriz, mejorando significativamente la propiedad de absorción de agua y su vez el paso de los microorganismos. En cuanto la generación de CO<sub>2</sub>, se obtuvo mayores cantidades de este en los biocompuestos y en los bio-nanocompuestos, lo cual causó que a los 10 días de proceso cayera el pH a 6 (Jandas et al., 2019).

## Figura 6

*Patrón de pérdida de peso durante la inoculación de B. Cepacia*



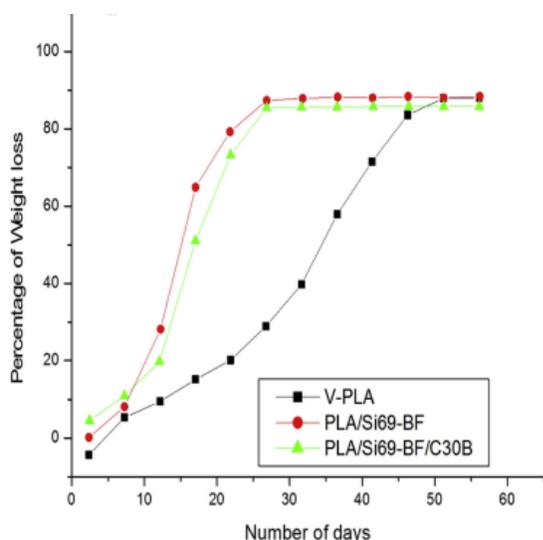
Tomada de: (Jandas et al., 2019)

Ahora bien, en la figura 6, se puede observar el comportamiento de degradación de los tres materiales para el proceso de degradación microbiana llevada a cabo con el medio *Berkholdaria Cepacia* (*B.Cepacia*). En éste, se obtiene mejores resultados de degradación de los biocompuestos y los bio-nanocompuestos los cuales logran una pérdida de peso del 85% en

periodo de 20 a 25 días; mientras que con el PLA virgen logra una pérdida de peso del 40% a los 30 días.

## Figura 7

*Patrón de pérdida de peso durante inóculos fúngicos mixtos*



Tomada de: (Jandas et al., 2019)

En la figura 7, se pueden observar los resultados de degradación para el proceso de degradación fúngica mixta; los biocompuestos y los bio-nanocompuestos tienen una degradación del 90% en un periodo de 25 a 30 días, mientras que el PLA logra una degradación del 91% en un periodo de 45 a 50 días.

Finalmente, para el proceso de intemperismo acelerado “las muestras de biocompuestos y bio-nanocompuestos comenzaron a perder propiedad desde el noveno día en adelante y no resistieron más de 24 días” (Jandas et al., 2019), pero la muestra de PLA tardó 90 días para lograr una degradación parcial.

Por otra parte, se hace énfasis en otros estudios los cuales proponen el ácido poliláctico (PLA) o el polihidroxialcanoato (PHA) para la fabricación de nuevos productos desechables

biodegradables o compostables. Si bien se ha determinado que la fabricación de éstos es de alto costo comparadas con otros métodos, y que tardan años en degradarse; estos productos se pueden mezclar con biomateriales naturales celulósicos para disminuir así su tiempo de degradación.

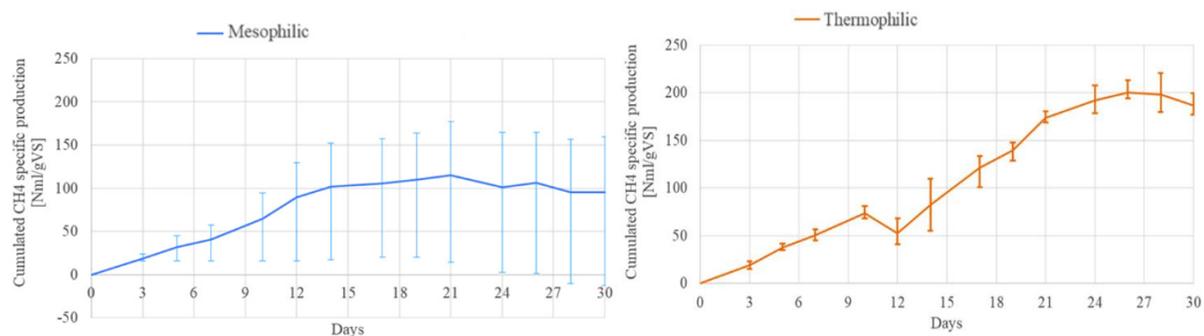
Para este experimento se usan productos con diferentes composiciones, el primer producto es a base de polietileno (control), otro producto está hecho a base de compuestos de al menos 60% de almidón y derivados de almidón y de aproximadamente un 40% de resina sintética que es hidrófila y biodegradable; el tercer producto es elaborado con tapones de botellas de vino que se usan como materiales de base biológica y finalmente un producto elaborado a base de placas celulósicas. Con esto, “se realizaron pruebas anaeróbicas con los primeros dos productos en condiciones mesofílicas (35 °C) y termofílicas (55 °C), mientras que las pruebas con productos de tapones de vino de botella y placas celulósicas se realizaron solo en condiciones mesofílicas” (Calabro et al., 2020).

Ahora bien, estos compuestos son sometidos a diferentes procesos; principalmente se les realiza un proceso de trituración, posterior a estos se somete a una prueba química en donde se adiciona una solución de NaOH al 50% durante un día y finalmente se someten a digestión anaeróbica durante 15 días a una temperatura de 35°C. Luego de esto se tamizan los sustratos con el fin de separar la materia líquida de la sólida y posteriormente se secan para cuantificar la cantidad de materia degradable.

La generación de metano (CH<sub>4</sub>) que se produce en la de digestión anaeróbica es un indicador de la degradación de los productos (Calabro et al., 2020).

## **Figura 8**

*Acumulación de metano en condiciones mesofílicas y termofílicas*



Modificado de:(Calabro et al., 2020)

En la figura 8, se puede observar por ejemplo la acumulación de metano del producto a base de almidón y resina sintética, tanto en condiciones mesofílicas como en condiciones termofílicas; donde se evidencia un aumento de CH<sub>4</sub> en las condiciones termofílicas, es decir que al aumentar la temperatura la acumulación de dicho gas es mayor.

Con lo anterior, las pruebas que se realizan para determinar si los materiales se han degradado es con la pérdida de peso; con esto se determina que la pérdida de peso del primer producto (a base de polietileno) es 28% de su masa a los 15 días y al 41% a los 30 días. Los productos a base de almidón y resina sintética se degradaron parcialmente, pues en el mismo lapso de tiempo sólo se podían observar algunos agujeros en el producto. Finalmente el último producto (a base de corchos de botellas de vino) tuvo una degradación total a los 30 días (Calabro et al., 2020).

Se realizó otro estudio para analizar la viabilidad del tiempo de degradación de productos de PLA mezclados con almidón, y se reforzó el producto con cascarras de trigo y de maíz. Ahora bien, el almidón principalmente se obtiene de “semillas y tubérculos o raíces de las plantas. La mayor parte del almidón producido en todo el mundo se deriva del maíz” (Gadhavé et al., 2018), también se encuentra en el trigo, el arroz, la papa, la tapioca, los guisantes, entre otros. Al realizar la mezcla del PLA y el almidón, se mejora la resistencia al agua, así como las propiedades de procesamiento y las propiedades mecánicas.

Principalmente se “prepararon películas de mezcla ternaria con diferentes proporciones de almidón-alcohol poli vinílico con ácido cítrico para obtener películas con mejores propiedades antibacterianas, mecánicas y térmicas” (Gadhavé et al., 2018), lo anterior teniendo en cuenta que para la elaboración de productos de envases de alimentos es necesario la integración de agentes antimicrobianos, es decir, la integración de compuestos que ayuden a prevenir “el crecimiento microbiano en los productos alimenticios y prolongar su vida útil” (Gadhavé et al., 2018).

Posterior a esto se deja el producto a la intemperie con el fin de determinar el tiempo de degradación a condiciones naturales. Pasados 20 días hay oricios en los platos elaborados, lo cual muestra una degradación parcial. A los 46 días el producto se degradó completamente.

Nuevamente se trae a colación los estudios realizados por parte de estudiantes de la Universidad Nacional de Colombia (2020), quienes en otro proyecto proponen hacer platos a base de cascara de banano que se genera en grandes cantidades en la industria bananera del Urabá antioqueño, con el fin de disminuir el impacto ambiental de los desechables plásticos, pues de las toneladas de residuos sólidos que se generan al año, el 56% son plásticos y solo se recicla el 20%. Estos platos reducen el tiempo de degradación pues según estudios ya realizados por los estudiantes, tardan en degradarse entre 40 a 50 días, además “no contiene sustancias tóxicas o que perjudiquen el medio ambiente y contamina 85% menos que los desechables convencionales” (Universidad Nacional de Colombia, 2020).

De igual manera se tiene el ejemplo de la empresa colombiana LifePack, quienes fabrican plásticos 100% biodegradables, estos “platos están elaborados con residuos de algunos productos agrícolas, como la corona de la piña” (Gallo, 2019) y están compuestos de grandes cantidades de celulosa. Estos platos tienen insertadas semillas de flores, hortalizas, plantas aromáticas, entre otras, es decir, que una vez usados pueden sembrarse; agregando además que tardan entre 40 a 60 días para degradarse.

Finalmente, se determina que la búsqueda de alternativas que sustituyan los platos plásticos no solo se está llevando a cabo en la academia, sino que hay iniciativas independientes de otras personas; por ejemplo, se presenta la siguiente nota de prensa, llevada a cabo en Distrito de Aguablanca, ubicado en el Oriente de la capital de Valle del Cauca. Ésta consiste en la elaboración de platos comestibles a base de harina de trigo. Este proyecto es planteado por un caleño quien ajustó una máquina de obleas para dar la forma de plato y se hace uso de una masa con los productos anteriormente mencionados. Adicionalmente menciona que el “plato soporta buena temperatura y tiene resistencia para servir los alimentos de una mediana humedad” (Noticias Caracol, 2019). Cabe mencionar que los platos tienen buen aspecto lo cual es necesario para que las personas se incentiven a hacer uso de los mismos. Siendo así, estos platos son usados y si las personas lo desean lo pueden consumir en el mismo momento o a los pocos días de hacer uso de estos, pronosticando así un tiempo de existencia en el medio de 1 a 3 días.

## **7. Metodología**

Para dar cumplimiento a los objetivos planteados en el trabajo y la problemática descrita con anterioridad, se realizó una investigación documental, en donde se analizó la información estableciendo similitudes, diferencias, entre otros aspectos, de diferentes materias primas para la elaboración de platos biodegradables. Para el presente documento se hizo uso de diferentes fuentes de información de la biblioteca de la Universidad Antonio Nariño, algunas de estas fuentes fueron ScienceDirect, Oxford University Press, SpringerLink, Scopus, entre otras; cabe mencionar que el 40% de la bibliografía empleada pertenece a publicaciones realizadas en inglés.

Ahora bien, la elaboración de la presente monografía se dividió en 4 fases:

### **7.1 Fase 1 Búsqueda de información**

Se hizo uso de artículos y documentos académicos que estén disponibles en las fuentes de investigación de la Universidad Antonio Nariño, así como de otras fuentes académicas que están disponibles para todo el público.

### **7.2 Fase 2 Selección de la información**

Se realizó la selección de la información que estuviera registrada a partir del año 2016; dicha información contiene aspectos importantes a tener en cuenta dentro de la monografía, tales como materias primas, procesos de elaboración de cada producto, así como los resultados obtenidos, entre ellos el tiempo y porcentaje de degradación de cada uno.

### **7.3 Fase 3 Análisis de la información**

Se hizo un análisis de la información que se seleccionó, con el fin de cumplir con los objetivos planteados en el documento. Para esto inicialmente se realizó una búsqueda de información para la caracterización de las diferentes materias primas, posterior a esto se elaboró una matriz de análisis de las mismas, en donde se evaluaron aspectos como accesibilidad, costo de la materia prima, producción, costo de producción, porcentaje de degradación, tiempo de degradación e impacto ambiental; cada criterio tuvo una valoración diferente.

Los valores registrados en la matriz se obtienen del producto de la calificación de cada criterio y la ponderación de cada uno. Lo anterior, se llevó a cabo para determinar cuáles son las mejores alternativas para la elaboración de platos biodegradables.

### **7.4 Fase 4 Consolidado de la información**

Con la información obtenida se llevó a cabo la elaboración del documento de forma secuencial y precisa.

## 8. Resultados y discusión

### 8.1 Caracterización materias primas

Para dar cumplimiento a la metodología de investigación planteada a continuación, se da a conocer el objeto del estudio; que corresponde a analizar diferentes tipos de materias primas para la elaboración de plastos biodegradables. Teniendo en cuenta lo anterior y la información recopilada en el estado del arte, se realiza una caracterización de las diferentes materias primas allí planteadas con el fin de determinar cuáles son las mejores alternativas para la elaboración de platos biodegradables.

Inicialmente, se encuentra la cáscara de banano la cual representa del 30 al 40% del peso total de la fruta; está compuesta por humedad con un 88.3%, proteínas con 4.77%, fibra cruda con 11,95% y cenizas con un 17,6%. Cabe mencionar que dentro de estas cenizas se tienen en cuenta el potasio, el magnesio, el hierro y el aluminio. El porcentaje de calcio es de 0,36% y finalmente de fósforo con un porcentaje de 0,23. Adicional a esto; este residuo del plátano tiene una composición de celulosa del 25%, hemicelulosa del 20% y lignina del 60% (Bediako et al., 2019). Estos últimos componentes se encuentran en la fibra cruda de la cascara del banano.

La cascara de plátano, representa el 30% del total del peso del fruto. Está compuesta por humedad con un 91.62%, proteínas con 5.19%, fibra cruda con 11,58%, calcio con un porcentaje de 0,37 y finalmente de fósforo con un porcentaje de 0,28. Adicional a esto; este residuo del plátano tiene una composición de celulosa, hemicelulosa y lignina con 24.5%, 17.3% y 53.6% respectivamente (Carvajal Santos & Murgueitio Meza, 2017) . Al igual que la cascara de banano, la celulosa, hemicelulosa y lignina se encuentran en la fibra cruda de la cascara del plátano.

También se caracteriza la harina de trigo, la cual es tenida en cuenta para la elaboración de platos comestibles. Esta materia prima está compuesta en un 70 % de almidón y tiene un contenido de humedad del 15%. Dentro de las proteínas que la componen se destacan la albúmina, la globulina y el gluten, las cuales corresponden entre un 9% y 12% (IAMSA, 2016)

Las hojas de plátano, representan un 21% del total del peso de la planta de plátano. Tienen un porcentaje de humedad de 60.5%, fibra cruda 0.9% y porcentaje de cenizas de 1.1. Dentro de su caracterización química se determina que tienen un porcentaje de lignina de 19,84%, de celulosa 36,98% y el porcentaje de hemicelulosa es de 29,66% (Palacios, 2016).

La cascarilla de café representa el 12% del total del peso del grano de café. Tiene un porcentaje de humedad del 13.1% y de ceniza del 3,7% (Manals Cutiño et al., 2018). Este residuo tiene una composición química de 57% de celulosa, 23,7% de lignina y 27,7% de hemicelulosa (Alvarez Hincapié, 2016).

En cuanto a la fibra de Coco, principalmente se señala que el coco está formado por un capa la cual se denomina mesocarpio, esta representa el 35% del fruto; en ella se encuentra las fibras y el tejido medular de este fruto (Rincón Reyna et al., 2016). Como se menciona anteriormente la fibra de coco es un material resistente que tiene alta durabilidad y gran capacidad de aislamiento térmico y acústico, adicional a esto también tienen buena capacidad de retención y absorción de agua. Su composición química consta de un porcentaje de “humedad del 83.5%, 5.54% de cenizas, 5.18% de proteína, 34.63% de fibra cruda. Así mismo posee 35.9% de celulosa, 18.56% de hemicelulosa, 19.38% de lignina” (Rincón Reyna et al., 2016).

La hoja de achira, representan el 47% del total del peso de toda la planta, pues además de las hojas también se encuentran las flores, el tallo y los brutos. Estas hojas tiene entre “11 a 60 cm de longitud y 95 a 40 cm de ancho” (Cuvi Rivadeneira & Marín Hermenejildo, 2018). Tiene un porcentaje de humedad de 66.8%, proteínas 0.9%, fibra cruda 0.5%, cenizas 0.9%, fosforo 63.0%. En cuanto a su composición química, tiene lignina con un porcentaje de 8.8, celulosa con 60.8 y finalmente hemicelulosa con 20. En la mayoría de países de Latinoamérica son comunes para envolver alimentos.

### **Tabla 1**

*Composición química de diferentes materias primas*

Materia prima	% humedad	% proteínas	% fibra cruda	% cenizas	% celulosa	% Hemicelulosa	% lignina
Cascara de banano	88.3	4.77	11.95	17.6	20	20	60
Cascara de plátano	91.62	5.19	11.58	16.30	24.5	17.3	53.6
Hojas de plátano	60.5	-	0.9	1.1	36.98	29.66	19.84
Cascarilla de Café	13.1	-	-	3.7	57	23.7	27.7
Fibra de Coco	83.5	5.18	34.63	5.54	35.9	18.56	19.38
Hoja de achira	66.8	0.9	0.5	0.9	60.8	20	8.8

Fuente: Autoría propia

En la tabla 1 se pueden evidenciar las composiciones químicas principales de cada materia prima a excepción del ácido poliláctico pues como se mencionó anteriormente este es derivado de la hemicelulosa, por tanto, no se realiza una caracterización similar a las demás materias primas.

**Tabla 2**

*Parámetros para la puntuación de la matriz de análisis de materias primas para la elaboración de platos biodegradables*

Criterio	Calificación
Accesibilidad	
Poco accesible	1
Accesible	2
Muy accesible	3
Costo de materia prima	
Alto	1
Medio	2
Bajo	3
Producción	

Muy fácil	5
Fácil	4
Medio	3
Difícil	2
Muy difícil	1
Costo de producción	
Alto	1
Medio	2
Bajo	3
Porcentaje de degradación	
1 – 20 %	1
21 – 40 %	2
41 – 60 %	3
61 – 80 %	4
81 – 100 %	5
Tiempo de degradación	
1 – 30 días	5
31 – 60 días	4
61- 90 días	3
91 – 120 días	2
121 – 150 días	1
Impacto ambiental	
Positivo alto	3
Positivo medio	2
Positivo bajo	1
Negativo bajo	-1
Negativo medio	-2
Negativo alto	-3

Fuente: Autoría propia

Para diligenciar la matriz de análisis de las materias primas para la elaboración de platos biodegradables, se establecieron rangos de calificación para cada criterio los cuales se evidencian en la tabla 2. En cuanto al primer criterio, se tiene en cuenta que tan accesible es la materia prima teniendo en cuenta la ubicación de la(s) persona(s) que diligencia(n) la matriz, el costo de la materia prima se determina basado en los precios de mercado de las materias primas y tiene una relación directa con la accesibilidad de las mismas, por ejemplo para el caso de las cáscaras de banano y plátano se determina un precio bajo; para el criterio de producción se tiene en cuenta si los estudios abordados emplean tecnologías como la máquina de termo-compresión

o por el contrario la elaboración de los platos es de manera manual, es decir sin hacer uso de máquinas u otras tecnologías, en cuanto al costo de producción se determina teniendo en cuenta si la producción es muy fácil o fácil, lo cual tendría un costo bajo, si la producción es media el costo es medio y si la producción es difícil o muy difícil el costo será alto, la determinación de los intervalos del porcentaje y tiempo de degradación de las diferentes materias primas se establecen teniendo en cuenta la “regla de Sturdes” (Alessio Torres, 2020). Finalmente, para determinar el impacto ambiental de los productos, se tiene en cuenta si éstos al degradarse generan o no malos olores, productos tóxicos, entre otras características que pueden generar alteraciones en el medio ambiente o si, por el contrario, de ellos se puede obtener un producto de valor agregado como el abono o fertilizantes naturales.

Para determinar la importancia de los criterios establecidos anteriormente, se emplea la matriz de priorización (Keller et al., 2009), en la cual se evidencian las ponderaciones que se le asignan a cada criterio.

**Figura 9***Matriz de priorización*

	Accesibilidad	Costo de materia	Producción	Costo de producción	Porcentaje de degradación	Tiempo de degradación	Impacto ambiental	Total	Ponderado	Ponderado %
Accesibilidad		1	1	0	0	0	0	2	0,1	10
Costo de materia prima	0		0	1	0	0	0	1	0,05	5
Producción	0	0		1	0	0	0	1	0,05	5
Costo de producción	0	0	1		0	0	0	1	0,05	5
Porcentaje de degradación	1	1	1	1		0	0	4	0,2	20
Tiempo de degradación	1	1	1	1	1		0	5	0,25	25
Impacto ambiental	1	1	1	1	1	1		6	0,3	30
Total								20	1	100

En la figura 9, se puede evidenciar la matriz de priorización, para diligenciar la matriz se tuvo en cuenta la importancia de cada criterio frente a los demás, para ello se da un valor de 1 si el criterio a evaluar es más importante que los otros criterios, por ejemplo el criterio de accesibilidad es más importante que el costo de la materia prima motivo por el cual tiene un puntaje de 1; el valor de 0 hace referencia a que el criterio que se está evaluando es menos importante que el otro; por ejemplo el costo de la materia prima no es importante comparado con la producción. Ahora bien, para determinar el valor ponderado, se divide “el total obtenido por criterio por la sumatoria de puntos” (Ingenio Empresas, 2021). Por ejemplo, para el criterio de accesibilidad,  $2/20= 0.1$ .

El criterio más importante según la figura 9, es el impacto ambiental; pues basado en los documentos consultados se hace mención que “los plásticos biodegradables pueden tener aplicaciones similares a los plásticos hechos a base de combustibles fósiles, pero su biodegradabilidad los convierte en una solución sostenible” (Calabro et al., 2020), logrando así un impacto ambiental positivo comparado con los impactos de un plástico convencional; otro autor por ejemplo menciona que “hay muchos investigadores que han informado de soluciones para la gestión de los residuos plásticos existentes para reducir el impacto de esos materiales” (Jandas et al., 2019). Con lo anterior se determina que el primer objetivo con el que se realizan los estudios, es con el fin de reducir el impacto negativo de los platos convencionales, convirtiéndolos en aspectos positivos con la implementación de nuevos productos amigables con el medio ambiente.

El tiempo de degradación y el porcentaje de degradación, son el segundo y tercer criterio más importante respectivamente; esto teniendo en cuenta que en la mayoría de literatura se hace énfasis en el tiempo y en el porcentaje de degradación de los productos y segundo porque con la elaboración de dichos productos se pretende disminuir el tiempo de degradación y aumentar el porcentaje de degradación para evitar así una posible acumulación de estos, como sucede con los plásticos convencionales.

La accesibilidad, tiene una ponderación de 10%, resulta ser más importante que el costo de la materia prima y la producción debido a que, si la materia prima no es accesible, los costos de estas aumentan y así mismo no se podrá llevar a cabo fácilmente la producción de los platos; es decir que la producción disminuye si no hay materia prima, por tanto, es importante su accesibilidad. Por ejemplo, la empresa de Plateco cuenta con su propio cultivo y en él producen la materia prima, es decir que para ellos el costo de la materia prima es menor y favorecerá la producción de los platos (Muñoz, 2020).

Los porcentajes de costo de materia prima, producción y costos de producción, tiene las menores ponderación debido a que en poca literatura empleada se hace mención sobre estos criterios.

### Figura 10

*Matriz para el análisis de materias primas para la elaboración de platos biodegradables*

	MATRIZ PARA ANÁLISIS DE MATERIAS PRIMAS PARA LA ELABORACIÓN DE PLATOS BIODEGRADABLES										Versión 1			
											FECHA DE ACTUALIZACIÓN	DÍA	MES	AÑO
												1	Junio	2021
CRITERIOS	MATERIA PRIMA													
	Cáscara de plátano	Hojas de plátano	Cascarilla de Café - PLA	Fibra de coco	Cáscara de banano	Hoja de achira	PLA	PLA - Fibra de banano	PLA - fibra de banano - silicato	Polietileno	Almidón - Resina sintética	Corchos de botella de vino	PLA - Almidón	
Accesibilidad	0,3	0,3	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,3	0,2	
Costo de la materia prima	0,15	0,1	0,1	0,15	0,15	0,15	0,1	0,1	0,15	0,1	0,1	0,15	0,1	
Producción	0,15	0,1	0,1	0,25	0,25	0,2	0,15	0,1	0,1	0,15	0,15	0,1	0,15	
Costo de producción	0,1	0,05	0,05	0,15	0,15	0,15	0,1	0,1	0,05	0,15	0,1	0,1	0,1	
Porcentaje de degradación	1	1	1	0,8	1	1	1	1	1	0,6	0,4	1	1	
Tiempo de degradación	0,75	0,5	1	0,25	0,5	1,25	1	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1	
Impacto ambiental	0,9	0,6	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,6	0,3	0,6	0,9	0,9	
Total	3,35	2,65	3,35	2,7	3,25	3,85	3,45	3,65	3,25	2,75	2,8	3,8	3,45	

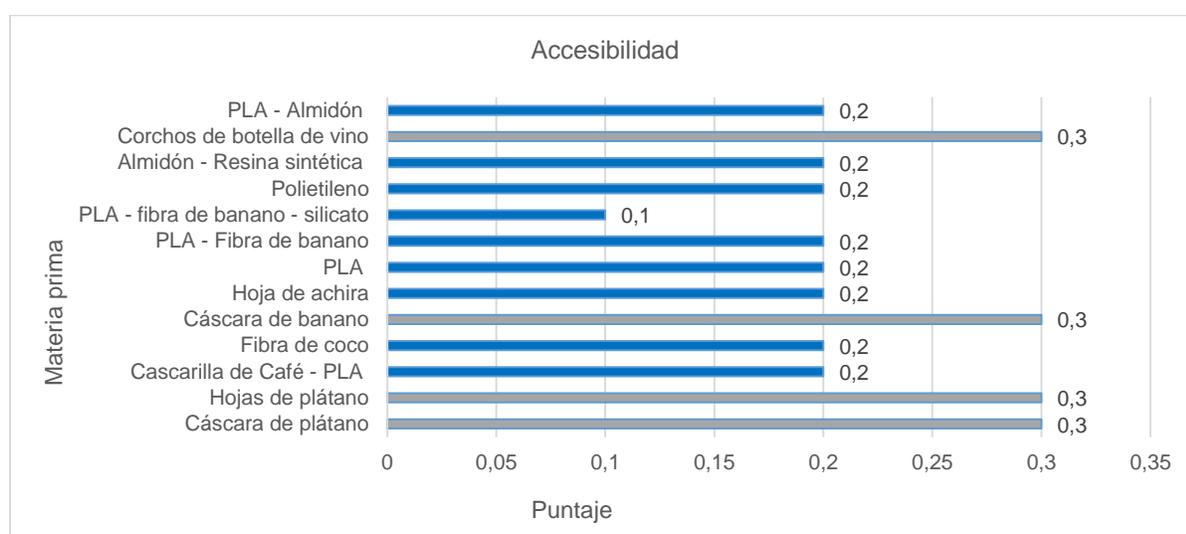
Fuente: Autoría propia

En la figura 10, se puede observar el puntaje que obtiene cada materia prima dependiendo del criterio a evaluar; cabe mencionar que cada criterio tiene una ponderación diferente. La accesibilidad tiene una ponderación de 10%, el costo de la materia

prima corresponde a un 5%, la producción a un 5%, el costo de producción a un 5%, el porcentaje de degradación a 20%, el tiempo de degradación corresponde a un 25% y finalmente se evalúa el impacto ambiental que tiene la valoración máxima siendo esta del 30%, determinados en la figura 9. De igual manera con estos datos obtenidos, se realiza un análisis estadístico con el fin de determinar cuál es o cuales son las materias primas que más predominan para cada criterio.

### Figura 11

#### Gráfica criterio de accesibilidad

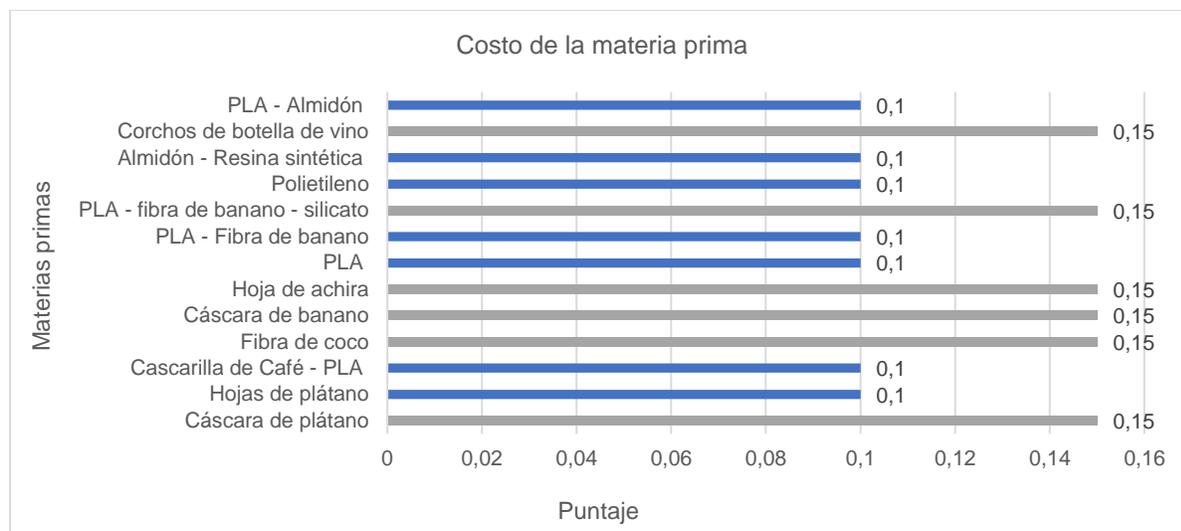


Fuente: Autoría propia

En la figura 11, se puede evidenciar cuales son las materias primas con mayor accesibilidad siendo estas: cáscara de plátano, hojas de plátano, cáscara de banano, y los corchos de botella de vino; mientras que la única materia prima poco accesible es la mezcla de PLA – fibra de banano y silicato. Para este criterio, se establece que la media es de 0,22; la mediana es de 0,2 y la moda es 0,2, siendo este el dato con mayor frecuencia.

## Figura 12

*Gráfica criterio de costo de materia prima*

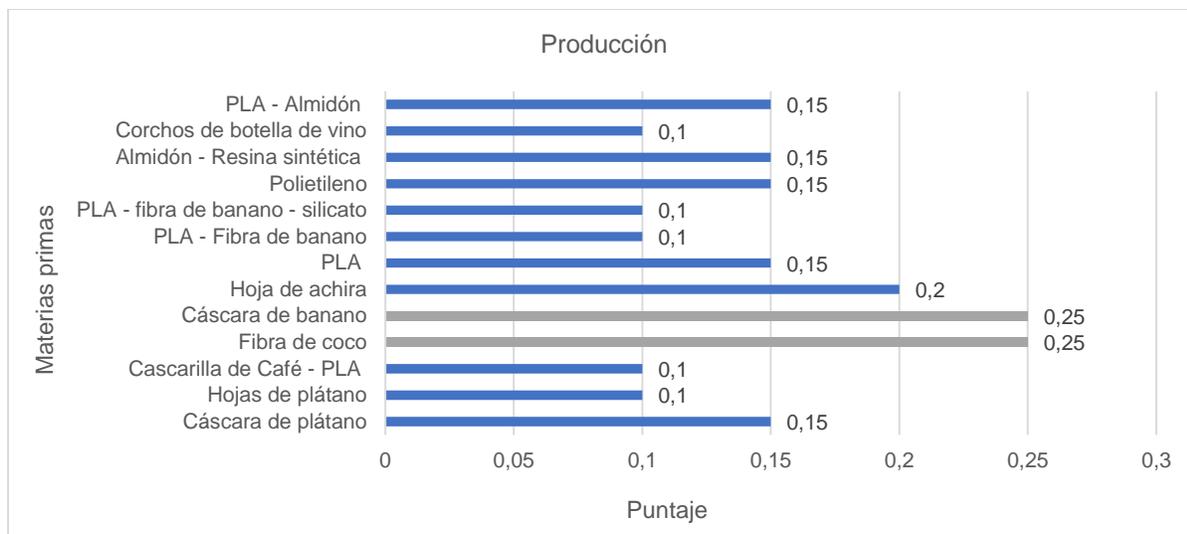


Fuente: Autoría propia

Por otra parte, en la figura 12, se observa el puntaje de cada materia prima en cuanto a su costo. El promedio para estos datos es de 0,12; la mediana es de 0,1 y la moda de 0,1, dato el cual tiene una calificación de un costo medio.

## Figura 13

*Gráfica criterio de producción*

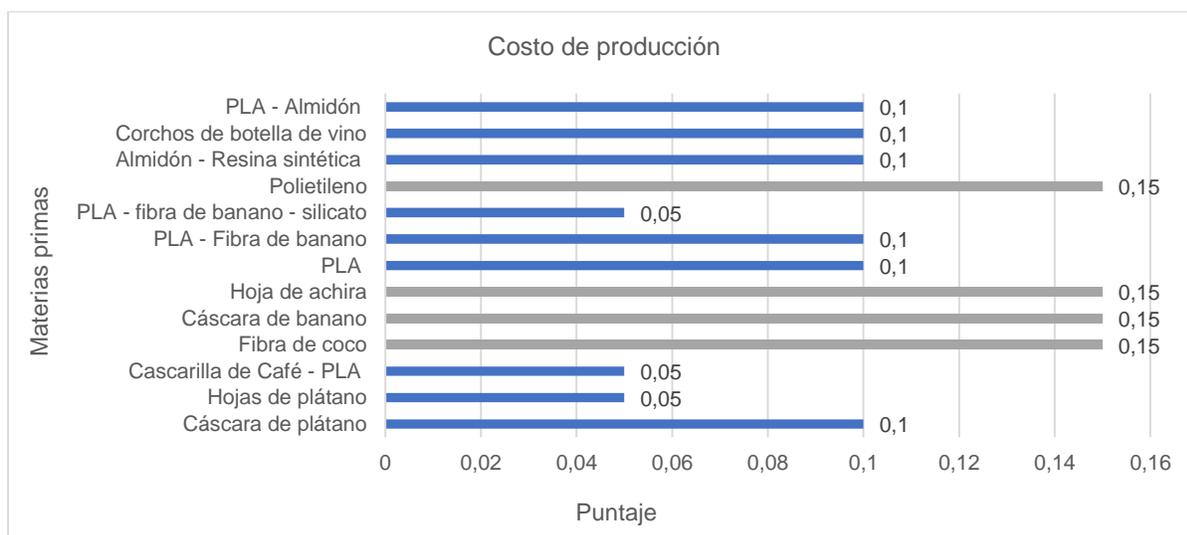


Fuente: Autoría propia

En cuanto a la producción, en la figura 13 se puede identificar la variedad de puntajes. La media para este criterio es de 0,15; la mediana es de 0,15 que hace referencia a una calificación de producción media, mientras que la moda es de 0,1 con una frecuencia de 5, la cual hace referencia a una producción de compleja.

**Figura 14**

*Gráfica criterio de costo de producción*

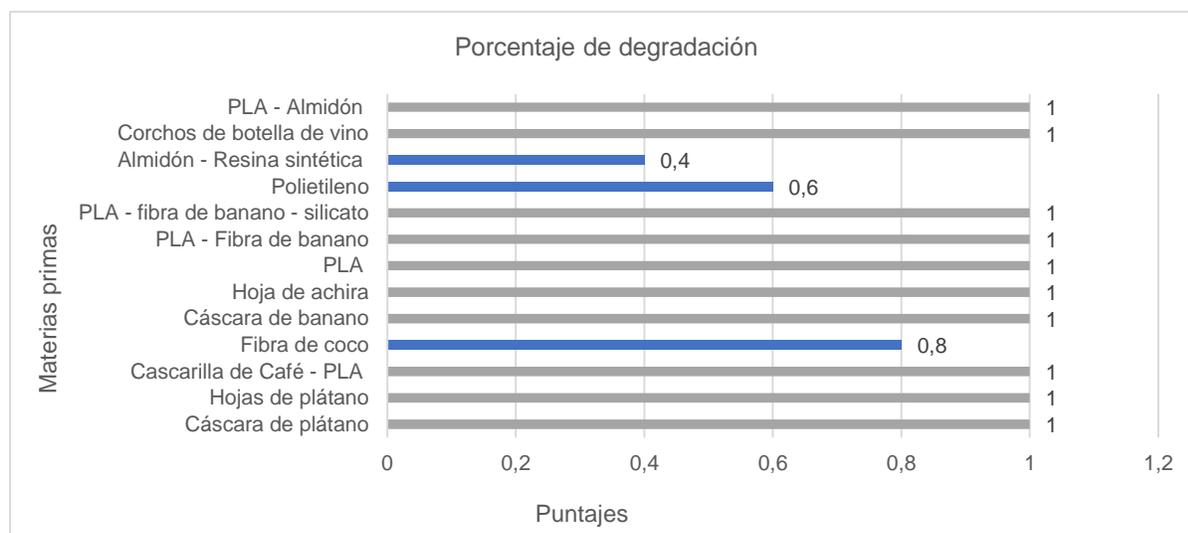


Fuente: Autoría propia

En la figura 14, se encuentra el puntaje obtenido para cada materia prima con base en el costo de producción. Para este criterio hay rangos de 0,05 a 0,15; la media es de 0,10; la mediana es de 0,1 y la moda es de 0,1; esta calificación, hace referencia a un costo de producción medio; teniendo en cuenta si hace uso de tecnologías especiales como la termo-compresión o no.

### Figura 15

*Gráfica criterio de porcentaje de degradación*

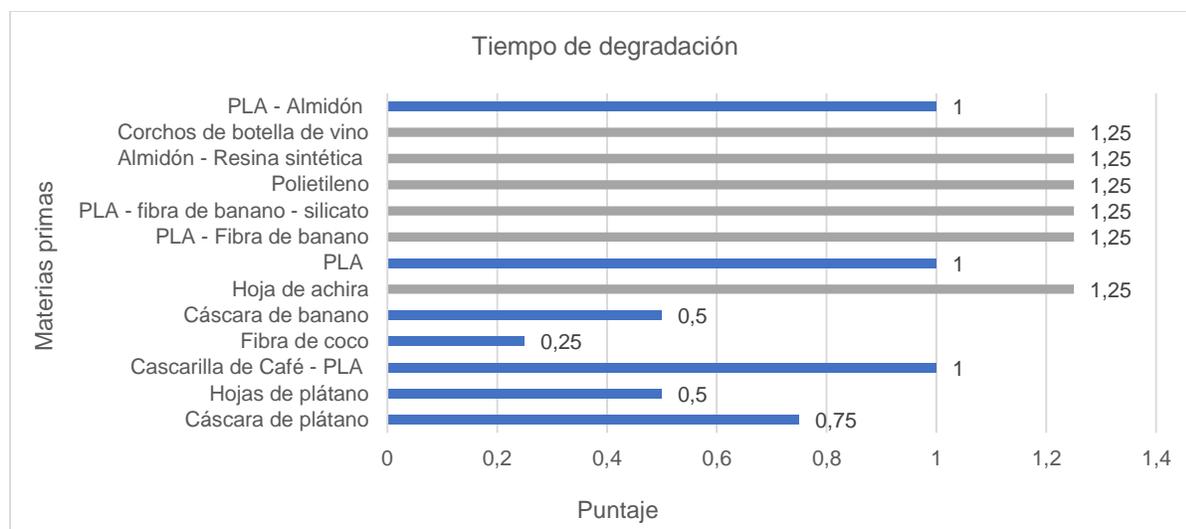


Fuente: Autoría propia

En la figura 15, se evidencia el porcentaje de degradación de cada materia prima en donde prevalece el puntaje de 1 que hace referencia a un porcentaje de degradación entre 81% al 100%. La media de este criterio es de 0,91 y la mediana es de 1.

### Figura 16

*Gráfica criterio de tiempo de degradación*

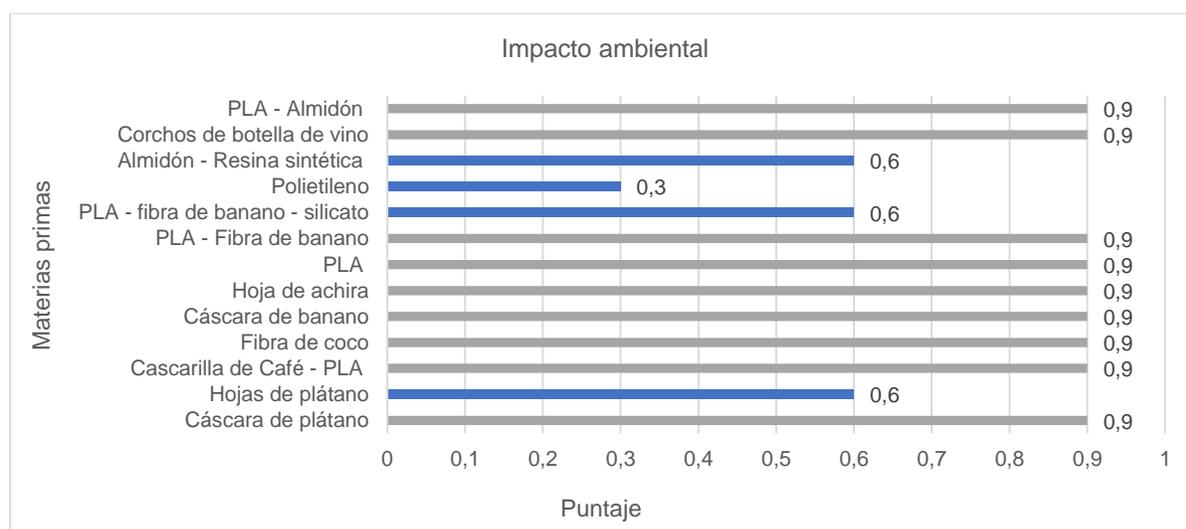


Fuente: Autoría propia

Los puntajes obtenidos para cada materia prima en relación con el tiempo de degradación, se puede observar en la figura 16. En este criterio el rango es de 0,25 a 1,25; la media es de 0,96; la mediana es de 1 y la moda es de 1,25; estos últimos, hacen referencia a un tiempo de degradación de 31 a 60 días y de 1 a 30 días, respectivamente.

## Figura 17

*Gráfica criterio de impacto ambiental*

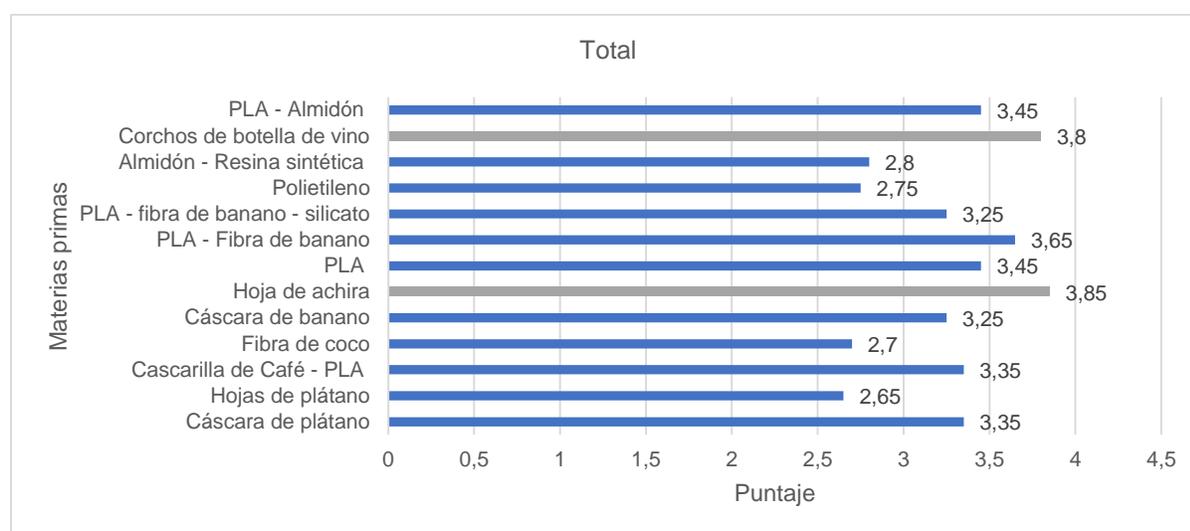


Fuente: Autoría propia

Finalmente, en la figura 17 se evalúa el impacto ambiental, criterio el cual varía de aspectos positivos a negativos; sin embargo, en las calificaciones obtenidas, el impacto ambiental de cada materia prima es positivo. Como media, se obtiene un valor de 0,78; la mediana es de 0,9 y la moda es de 0,9; siendo este un impacto ambiental positivo alto.

## Figura 18

Gráfica puntaje total



Fuente: Autoría propia

Teniendo en cuenta los totales de cada materia prima que se evidencian en la figura 18, se obtiene que las hojas de achira son la mejor alternativa; pues al realizar la respectiva valorización en la matriz, esta es de fácil acceso, su costo es bajo, la producción de los platos biodegradables es sencilla, el costo de producción es bajo, su porcentaje de degradación es alto pues se degrada un 100%, el tiempo de degradación es de 28 a 30 días lo cual se debe a que su porcentaje de materia lignocelulósica es relativamente bajo; por ejemplo el su composición de lignina es de 8.8% siendo esta de degradación compleja y de hemicelulosa es de 20% (Cuvi

Rivadeneira & Marín Hermenejildo, 2018); finalmente su impacto ambiental es positivo alto, pues al degradarse no genera contaminantes tóxicos.

Se encuentran también los platos elaborados a base de corchos de botellas de vino al igual que las hojas de achira, son de fácil acceso, la producción es sencilla, es costo tanto de la materia prima como de la producción es bajo y tiene una degradación del 100% en 30 días.

## **9. Conclusiones**

Se consolidó la información necesaria para la elaboración de la monografía, dicha información fue suministrada por diferentes bases de datos como se menciona en la metodología de investigación. Con ello se logró identificar 15 diferentes materias primas para la elaboración de platos biodegradables, las cuales son: cáscara de plátano, hojas de plátano, cascarilla de café, fibra de coco, cáscara de banano, hojas de achira, Acido Poliláctico (PLA), mezcla de PLA y fibra de banano, mezcla de PLA, fibra de banano y silicato, polietileno, mezcla de almidón y resina sintética, corchos de botella de vino, mezcla de PLA y almidón, corona de piña y harina de trigo.

Se establecieron técnicas de diferentes procesos para la elaboración de platos biodegradables dependiendo de la materia prima a implementar; estas técnicas son: técnicas para separación de materias prima en donde se hace mención de procesos como trituración, secada u separación de polímeros, técnicas de desinfección en donde se emplea el agua para una desinfección previa y desinfección con rayos ultravioleta, técnicas de formación de los platos biodegradables en donde se encuentra la termo-compresión y técnicas para observar la degradación de los productos en donde se hizo énfasis en el intemperismo, compostaje y la degradación microbiana.

Finalmente, se recopiló información de la caracterización de las materias primas y se realizó la evaluación de cada una a través de una matriz, con el fin de determinar cuáles de estas tienen

mayor potencial para el desarrollo de los platos biodegradables; obteniendo que las hojas de achira y los corchos de botellas de vino son dos de las mejores alternativas para la elaboración de los platos biodegradables.

## **10. Recomendaciones**

Una vez concluida la monografía, se considera interesante realizar investigaciones sobre otros aspectos relacionados con la elaboración de los platos biodegradables, como lo serían otras materias primas como por ejemplo la caña de azúcar, la harina de yuca, la semilla de aguacate, la cascarilla de arroz, entre otras.

Realizar un análisis con mayor detenimiento y buscar la razón de, el por qué los platos elaborados a base de hojas de plátano, así como de la mezcla de almidón y resina sintética son las materias primas con menos puntaje dentro de la matriz.

Se puede tener en cuenta realizar prácticas en laboratorios con el fin de identificar las características físico-químicas de cada materia prima, para ello se recomendarían principalmente las materias primas que obtuvieron las mayores puntuaciones en la matriz, siendo algunas de estas: la hoja de achira, los corchos de botella de vino, la cáscara de banano, la cáscara de plátano, y la mezcla de PLA con fibra de banano. Algunas de las pruebas en laboratorio podrían llevarse a cabo para determinar la resistencia al calor, la resistencia a la humedad, y el peso que soportaría cada plato.

## 11. Referencias Bibliográficas

- Alessio Torres, V. J. (2020). *Regla de Sturges*. Lifeder. <https://www.lifeder.com/regla-sturges/>
- Alvarez Hincapié, A. B. (2016). Caracterización fisicoquímica de varios residuos agroindustriales y sus mezclas para la producción de biocombustibles. *Repository Usta*, 1(August). <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/9608/AlvarezHincapieAnaBeatriz2016.pdf?sequence=1>
- Aymara Leon, R. L., Félix Limas, M. del P., Maguiña Quispe, G. A., Ticona Avalos, N., & Ventosilla Laverio, Y. E. (2019). *Proyecto BioPack. Platos biodegradables* [Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. [https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/651881/Aymara\\_LR.pdf?sequence=3&isAllowed=y](https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/651881/Aymara_LR.pdf?sequence=3&isAllowed=y)
- Bediako, J. K., Sarkar, A. K., Lin, S., Zhao, Y., Song, M. H., Choi, J. W., Cho, C. W., & Yun, Y. S. (2019). Characterization of the residual biochemical components of sequentially extracted banana peel biomasses and their environmental remediation applications. *Waste Management*, 89, 141–153. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.04.009>
- Benaimche, O., Seghir, N. T., Sadowski, Ł., & Mellas, M. (2020). The Utilization of Vegetable Fibers in Cementitious Materials. *Encyclopedia of Renewable and Sustainable Materials*, 2, 649–662. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803581-8.11596-6>
- Bioenarea. (2021). *Biorrefinerías una oportunidad de negocio para las zonas rurales y las industrias*. <https://docplayer.es/27400896-Biorrefinerias-una-oportunidad-de-negocio-para-las-zonas-rurales-y-las-industrias.html>
- Calabro, P. S., Folino, A., Fazzino, F., & Komilis, D. (2020). Preliminary evaluation of the anaerobic biodegradability of three biobased materials used for the production of disposable plastics. *Journal of Hazardous Materials*, 390(February 2019), 121653. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.121653>
- Carrillo, J. (2016, September 15). *Extracción de hidrocarburos: Técnicas para disminuir su impacto ambiental*. Geoinnova. <https://geoinnova.org/blog-territorio/extraccion-de-hidrocarburos-impacto-ambiental/>
- Carvajal Santos, M. N., & Murgueitio Meza, F. J. (2017). *Caracterización de las proteínas de la cáscara de plátano tipo williams* [Universidad de Guayaquil]. <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/19183/1/TESIS CARACTERIZACION DE LAS PROTEINAS DE LA CÀSCARA DE PLÀTANO TIPO WILLIAMS.pdf>
- Cely Silva, J. S., Rojas Chiquillo, F., Pinzón, D. E., Gómez Pachón, E. Y., & Torres Pemberti, J. A. (2019). Sistema de conformado de platos con materiales biodegradables. In *Sena* (Vol. 83, Issue 9, pp. 35–38). [http://revistas.sena.edu.co/index.php/inf\\_tec/article/download/2579/2932#page=8...](http://revistas.sena.edu.co/index.php/inf_tec/article/download/2579/2932#page=8...)
- Clínica Jurídica de Medio Ambiente Y salud publica (MASP). (2019). Situación actual de Colombia y su impacto en el medio ambiente. *Green Peace*, 14. [http://greenpeace.co/pdf/2019/gp\\_informe\\_plasticos\\_colombia\\_02.pdf](http://greenpeace.co/pdf/2019/gp_informe_plasticos_colombia_02.pdf)
- Cubilla, K., González, Y., Montezuma, G., Samudio, M., & Gómez, E. (2019). Fibra de coco y cáscara de plátano como alternativa para la elaboración de material biodegradable.



- Kalita, N. K., Damare, N. A., Hazarika, D., Bhagabati, P., Kalamdhad, A., & Katiyar, V. (2021). Biodegradation and characterization study of compostable PLA bioplastic containing algae biomass as potential degradation accelerator. *Environmental Challenges*, 3(February), 100067. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100067>
- Keller, R., Eckert, C. M., & Clarkson, P. J. (2009). Using an engineering change methodology to support conceptual design. *Journal of Engineering Design*, 20(6), 571–587. <https://doi.org/10.1080/09544820802086988>
- Li, X., Xu, R., Yang, J., Nie, S., Liu, D., Liu, Y., & Si, C. (2019). Production of 5-hydroxymethylfurfural and levulinic acid from lignocellulosic biomass and catalytic upgradation. *Industrial Crops and Products*, 130(December 2018), 184–197. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.12.082>
- Lourdes Cornejo Arteaga, P. M. (2021). *Importancia de los hidrocarburos*. <https://www.uaeh.edu.mx/scige/boletin/prepa3/n2/m11.html>
- Malcolm, R. (2017). Ecodesign laws and the environmental impact of our consumption of products. *Journal of Environmental Law*, 23(3), 487–503. <https://doi.org/10.1093/jel/eqr029>
- Manals Cutiño, E., Salas Tort, D., & Penedo Medina, M. (2018). Caracterización de la biomasa vegetal “cascarilla de café.” *Scielo Cuba*, 38(1), 169–181. <http://scielo.sld.cu/pdf/rtq/v38n1/rtq13118.pdf>
- Minambiente. (2021). *Economía Verde*. <https://www.minambiente.gov.co/index.php/temas-asuntos-internacionales/48-tema-final>
- Montaño Montaño, Y. (2020). *Materiales sostenibles biodegradables para envasado de alimentos: hoja de bijao y hoja de plátano*. [Universidad de Antioquia]. [http://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/18773/3/MontanoYeraldin\\_2021\\_MaterialesBiodegradablesEmpaqueAlimentos.pdf](http://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/18773/3/MontanoYeraldin_2021_MaterialesBiodegradablesEmpaqueAlimentos.pdf)
- Muñoz, D. (2020, June 8). Plateco diseña platos biodegradables para proteger el medioambiente. *La Patria*. <https://www.lapatria.com/medioambiente/plateco-disena-platos-biodegradables-para-proteger-el-medioambiente-458845>
- National Nanotechnology Center of Thailand. (n.d.). *Biorefinery*. Retrieved May 6, 2021, from <https://www.nanotec.or.th/ncas/research/biorefinery/>
- Niaounakis, M. (2017). Thermocompression. *Management of Marine Plastic Debris*. <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/thermocompression>
- Nofar, M., Sacligil, D., Carreau, P. J., Kamal, M. R., & Heuzey, M. C. (2019). Poly (lactic acid) blends: Processing, properties and applications. *International Journal of Biological Macromolecules*, 125, 307–360. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.12.002>
- Noticias Caracol. (2019). *Platos comestibles, alternativa de un emprendedor frente a la problemática ambiental del plástico*. <https://noticias.caracol.com/valle/platos-comestibles-alternativa-de-un-emprendedor-frente-a-la-problematika-ambiental-del-plastico>
- Painter, S. (n.d.). *Examples of Sustainable Development*. Retrieved May 6, 2021, from [https://greenliving.lovetoknow.com/Slideshow:Examples\\_of\\_Sustainable\\_Development](https://greenliving.lovetoknow.com/Slideshow:Examples_of_Sustainable_Development)
- Palacios, M. G. (2016). Caracterización química de la biomasa procedente de las hojas, pseudotallo, raquis y pseudopecíolo de la planta de banano y su relación con el poder calorífico [Universidad de Cuenca]. In *Repositorio Institucional Universidad de Cuenca*.

<http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/26232>

- Prada Cadavid, Á. M. (2016). *Hidrocarburos: marco institucional y legal colombiano*. [https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/1468/Hidrocarburos Marco Institucional y Legal Colombiano.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/1468/Hidrocarburos%20Marco%20Institucional%20y%20Legal%20Colombiano.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Presidencia de la republica. (2020). *Reactivación del sector hidrocarburos está dando resultados: producción y actividad exploratoria aumentaron en 2019*. <https://id.presidencia.gov.co/Paginas/prensa/2020/Reactivacion-del-sector-hidrocarburos-esta-dando-resultados-produccion-y-actividad-exploratoria-aumentaron-en-2019-200201.aspx>
- Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo. (2021). *Objetivos de Desarrollo Sostenible*. <https://www1.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals.html>
- Rincón Reyna, J., Rincón Reyna, P., Torres Maravilla, E., Mondragón Rojas, A., Sánchez Pardo, M., Arana Cuenca, A., Jiménez García, E., & Ortiz Moreno, A. (2016). Caracterización fisicoquímica y funcional de la fibra de mesocarpio de coco (*Cocos nucifera* L.). *Investigación y Desarrollo En Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 1(2), 279–284. <http://www.fcb.uanl.mx/IDCyTA/files/volume1/2/3/49.pdf>
- Royte, E. (2019). *El plástico es una amenaza para la salud de los humanos*. [https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/grandes-reportajes/es-plastico-amenaza-para-nuestra-salud\\_12739](https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/grandes-reportajes/es-plastico-amenaza-para-nuestra-salud_12739)
- Rua Restrepo, J., Echeverry, G., & Colorado, H. (2019). *Toward a Solid Waste Economy in Colombia: An Analysis with Respect to Other Leading Economies and Latin America*. Springer. [https://ezproxy.uan.edu.co:2072/10.1007/978-3-030-10386-6\\_41](https://ezproxy.uan.edu.co:2072/10.1007/978-3-030-10386-6_41)
- Santos Bacariza, A. de los. (2016). *Celulosoma: Implicaciones en la biorrefinería del futuro* [Universidad de Sevilla]. <https://idus.us.es/xmlui/handle/11441/50463>
- Science History Institute. (2021). *Science of Plastics*. <https://www.sciencehistory.org/science-of-plastics>
- Trabucchi, M. (2019). *Las 7 islas de plástico más grandes del mundo*. <https://www.revistagq.com/noticias/articulo/7-islas-de-plastico-mas-grandes-del-mundo>
- Trojan Technologies. (2021). *UV Disinfection*. <https://www.trojantechnologies.com/en/technologies/uv-disinfection>
- Universidad Nacional de Colombia. (2020). *Estudiantes producirán desechables biodegradables a partir de la cáscara del banano*. <https://minas.medellin.unal.edu.co/noticias/3213-estudiantes-produciran-desechables-biodegradables-a-partir-de-los-residuos-del-banano>
- Vásquez Mackenzie, J. M., & Velastegui Araujo, S. F. (2020). Ecodiseño y producción sostenible de vajilla biodegradable para un modelo de emprendimiento ecológico en el campus ceasa [Universidad Técnica De Cotopaxi Facultad]. In *Universidad Técnica De Cotopaxi Facultad*. <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/4501/1/PI-000727.pdf>

## 12. Anexos

### 12.1 Anexo 1.

Máquina de termo-compresión



Tomada de (Cely Silva et al., 2019)

### 12.2 Anexo 2.

Proceso de elaboración de los platos a base cascarilla de café y ácido poliláctico (PLA)



Tomada de: (Cely Silva et al., 2019)

### 12.3 Anexo 3.

Producto final (Plato biodegradable)



Tomada de:(Cely Silva et al., 2019)

### 12.4 Anexo 4.

Platos biodegradables a base de cascara de plátano



Tomada de: (Cubilla et al., 2019)

### 12.5 Anexo 5.

Cronograma de degradación a base de cascara de plátano

Cronograma de descomposición		
Fecha	Descripción	Evidencia
7/8/18	Un mes a partir de que se puso a la intemperie.	 <p><b>Figura 5.</b> Tiene un mes.</p>
20/8/18	Se observa que el material se mostraba algo deteriorado con moho.	 <p><b>Figura 6.</b> Evidencia 2.</p>
8/9/18	Para esta fecha ya se encontraba descompuesto gran parte del material.	 <p><b>Figura 7.</b> Evidencia 3.</p>
15/9/18	Esto es una pequeña parte de lo que queda del plato elaborado con el material biodegradable.	 <p><b>Figura 8.</b> Evidencia 4.</p>

Tomada de: (Cubilla et al., 2019)