



**Estudio de las diferentes alternativas de plásticos biodegradables a base de componentes agrícolas para la sustitución de los plásticos derivados de petróleo en la industria de alimentos**

**Paola Andrea Martínez Luna  
Paola Andrea Roldan Molina**

**Facultad de Ingeniería  
Programa de Ingeniería Industrial  
Ibagué, 2022**



**Estudio de las diferentes alternativas de plásticos biodegradables a base de componentes agrícolas para la sustitución de los plásticos derivados de petróleo en la industria de alimentos**

**Paola Andrea Martínez Luna  
Paola Andrea Roldan Molina**

Trabajo de grado que se presenta como requisito parcial para optar al título de:  
**Ingeniero Industrial**

Director (a):

Ing. Natalia Andrea Salazar Camacho  
Profesor Universidad de Ibagué

Co-director (a)s:

Ing. Luz Adriana Sánchez Echeverri  
Profesor Universidad de Ibagué

**Facultad de Ingeniería  
Programa de Ingeniería Industrial  
Ibagué, 2022**





## Agradecimientos

Le agradezco a Dios por acompañarnos y guiarnos a lo largo de nuestra carrera, por ser nuestra fortaleza en los momentos de debilidad y por brindarnos una vida llena de experiencias, felicidad y aprendizaje.

Le agradezco a mis padres Arturo José Roldan Moreno y Ana Bertilde Molina Zamora y mi hermano Juan Pablo Roldan Molina por apoyarme en todo momento, por los valores que me han inculcado, por representar la unión familiar, por llenar mi vida de amor y felicidad, así mismo; por darme la oportunidad de tener una excelente educación en el transcurso de mi vida.

Le agradezco la confianza, apoyo y dedicación de tiempo a nuestros docentes: Natalia Andrea Salazar Camacho y Luz Adriana Sánchez Echeverri, por compartir sus conocimientos y guiarnos en este gran camino.

Agradezco a mi compañera Paola Andrea Martínez Luna, por ser mi amiga, por su paciencia, por motivarme día a día a no decaer y seguir apoyarme en cada paso que di, de esta manera le agradezco por brindarme la confianza y cariño para llegar a ser parte de una familia para mí.

Paola Andrea Roldan Molina

Agradezco primeramente a Dios por guiarme durante toda la carrera, a mis padres por apoyar mis sueños, y estar siempre a mi lado, han sido mis mejores guías de vida, le agradezco a las docentes por brindarnos sus conocimientos y guiarnos durante todo este proceso, a mi compañera de tesis y amiga quien me apoyo y motivo a seguir adelante, y me brindo su amistad incondicional.

Paola Andrea Martínez Luna





## Resumen

La presencia del plástico en el planeta ha alcanzado cantidades con las que el ser humano ya es incapaz de lidiar; se dice que América, Japón y la Unión Europea son los mayores productores de desechos plásticos per cápita y sólo un 9% de los 9,000 millones de toneladas de plástico que se han producido en el mundo ha sido reciclado (Zúñiga, 2019).

La Organización de las Naciones Unidas (ONU) reveló en su último informe de medio ambiente algunas cifras a nivel mundial, en donde se evidenció que al año se producen 300 millones de toneladas de residuos plásticos, y se estima que alrededor de 13 millones de toneladas de plástico son vertidas en los océanos, afectando la biodiversidad, la economía y la salud de las personas (Zúñiga, 2019).

La crisis mundial de contaminación por plásticos continuará agravándose a menos que todas las personas se vuelvan más conscientes del verdadero costo que estos representan para la naturaleza y las personas (NationalGeographic, 2019), por esta razón surge la necesidad de acción para intervenir en la disminución de esta problemática. Esta investigación plantea realizar un estudio sobre las diferentes alternativas de bioplásticos a base de componentes agrícolas, para la sustitución de plásticos derivados del petróleo en la industria de alimentos especialmente de bolsas y envases.

**Palabras clave:** bioplásticos, residuos agrícolas, nuevos materiales, biodegradabilidad.

## Abstract

The presence of plastic on the planet has reached quantities with which humans are already unable to cope, it is said that America, Japan and the European Union are the largest producers of plastic waste per capita and only 9 percent of the 9.000 million tons of plastic produced in the world has been recycled (Zúñiga, 2019).

In its latest environmental report, the United Nations (UN) revealed some figures worldwide, showing that 300 million tons of plastic waste are produced annually. and it is estimated that about 13 million tons of plastic are poured into the oceans, affecting biodiversity, the economy and people's health (Zúñiga, 2019).

The global crisis of plastic pollution will continue to worsen unless all people become more aware of the real cost they represent to nature and people (NationalGeographic, 2019), for this reason the need for action to intervene in the reduction of this problem arises. This research

proposes to carry out a study on the different alternatives of bioplastics based on agricultural components, for the replacement of petroleum-based plastics in the food industry, especially bags and packaging.

**Keywords:** bioplastics, agricultural residues, new materials, biodegradability



## Contenido

<b>1. Generalidades.....</b>	<b>3</b>
1.1 Planteamiento del problema .....	3
1.2 Justificación .....	5
1.3 Objetivos del estudio.....	6
1.4 Aspectos metodológicos .....	6
<b>2. Marco conceptual.....</b>	<b>9</b>
2.1 Generalidades de los plásticos .....	9
2.2 Plásticos biodegradables .....	10
2.3 Normatividad.....	20
<b>3. Proceso productivo para la elaboración de plásticos biodegradables a base de almidón .....</b>	<b>23</b>
3.1 Materia prima – almidón .....	23
3.2 Extracción del almidón.....	24
3.3 Etapas de manufactura de plásticos biodegradables .....	28
3.4 Costos de fabricación de bolsas biodegradables .....	31
3.5 Factibilidad de fabricación de un plástico biodegradable .....	33
<b>4. Análisis del potencial para la producción de plásticos biodegradables en el departamento del Tolima.....</b>	<b>35</b>
4.1 Producción agrícola en el departamento del Tolima.....	35
4.2 Productos agrícolas del departamento del Tolima potenciales para la elaboración de plásticos biodegradables .....	35
4.3 Mejores alternativas para producir plásticos biodegradables en el departamento del Tolima .....	37
4.4 Ventajas y desventajas de producir plásticos biodegradables en el Tolima.....	37
<b>5. Conclusiones y recomendaciones .....</b>	<b>39</b>
5.1 Conclusiones .....	39
5.2 Recomendaciones .....	39





## Lista de ilustraciones

<b>Ilustración 1</b> Mapa conceptual plásticos biodegradables. ....	12
<b>Ilustración 2</b> Diagrama de proceso extracción de almidón en frutas. ....	25
<b>Ilustración 3</b> Diagrama de proceso extracción de almidón en granos. ....	27
<b>Ilustración 4</b> Diagrama de proceso extracción de almidón en tubérculos. ....	28
<b>Ilustración 5</b> Diagrama de proceso elaboración de un plástico biodegradable. ....	29
<b>Ilustración 6</b> Estructura agrícola del Tolima.....	36





## Lista de tablas

<b>Tabla 1</b> Tipos de plásticos biodegradables y no biodegradables según su origen.....	11
<b>Tabla 2</b> Características de los plásticos biodegradables vs plásticos convencionales..	13
<b>Tabla 3</b> Tiempo de descomposición de plásticos biodegradables elaborados a base de fuentes agrícolas.....	14
<b>Tabla 4</b> Características de plásticos biodegradables vs plásticos convencionales. ....	14
<b>Tabla 5</b> Empresas nacionales.....	15
<b>Tabla 6</b> Empresas internacionales.....	15
<b>Tabla 7</b> Estudios realizados.....	16
<b>Tabla 8</b> Ventajas del almidón y la celulosa.....	19
<b>Tabla 9</b> Porcentajes de almidón y celulosa de diferentes fuentes agrícolas. ....	20
<b>Tabla 10</b> Fuentes de origen natural para la obtención de almidón.....	24
<b>Tabla 11</b> Costos.....	31
<b>Tabla 12</b> Productos agrícolas departamento del Tolima.....	36
<b>Tabla 13</b> Porcentaje de almidón, materias primas producidas en el departamento del Tolima.	37
<b>Tabla 14</b> Ventajas y desventajas de los plásticos biodegradables.....	38





## Introducción

En Colombia el panorama de la contaminación por plásticos no es alentador; ya que en junio de 2017 se estableció que un colombiano consume un promedio de 6 bolsas al día, lo que significa un total de 288 bolsas en un año, lo que traduce en toda su vida (77 años de vida promedio) 22.176 bolsas aproximadamente, lo cual es un consumo exagerado, además, es importante tener en cuenta que solo se recicla el 5% del plástico consumido, el 95% de plásticos restantes, una pequeña parte se lleva a un proceso de incineración, este método es más tóxico para el medio ambiente por la liberación de gases tóxicos como el monóxido de carbono, cianuro de hidrógeno, fosgeno; los residuos sólidos también son una fuente de contaminación importante ya que adiciona dioxinas y furanos al suelo los cuales son potencialmente mortales para el ser humano, la mayor parte del residuo de plástico se dirige a rellenos sanitarios y es así como estos desechos se vuelven intratables y tóxicos para el medio ambiente (Holguín, 2019).

Dicho lo anterior el uso intensivo de plásticos junto con su ascendente producción ha originado que el océano llegue a recepcionar al menos 12 millones de toneladas de basura plástica anual. En cuanto al volumen total de plástico producido en el mundo, es de 8300 millones de toneladas del cual solo 21% tiene una disposición final y existen alrededor de 525 billones de microplásticos que se encuentran en el fondo marino y playas, representando así una amenaza para los ecosistemas existentes, así se demostró que alrededor de 150 vertebrados e invertebrados del mar ingieren restos de productos producidos por el hombre (Cecilia, 2019)

Cabe resaltar que los plásticos convencionales se hacen a base de polímeros provenientes del petróleo, el cual no es un recurso sostenible (Ruiloba et al., 2018). En los últimos años existe un creciente interés por el futuro de la humanidad desde el punto de vista de la protección del medio ambiente. Factores como nuevas posturas en sostenibilidad, avances en la nanotecnología y la crisis petrolera de las últimas décadas muestran una visión diferente en las tendencias para el aprovechamiento de los recursos naturales. Entre éstas, se encuentra una enfocada hacia la ciencia de los polímeros para desarrollar nuevos materiales a partir de recursos renovables (Gómez Ayala & Yory Sanabria, 2018). Se han desarrollado materiales a partir de biomasa y la industria correspondiente espera un incremento en la demanda de los mismos en los próximos años (Ruiloba et al., 2018).

Estudios previos han demostrado que es posible obtener películas plásticas biodegradable flexibles, a partir del almidón de yuca y pectina, olote de maíz, papa, plátano y de otros polímeros. Los bioplásticos son compuestos de alto peso molecular elaborados a partir de fuentes naturales, tales como cultivos de poliésteres microbianos, de almidón, celulosa, entre otros. El almidón ha sido una de las principales materias primas consideradas para tal fin, debido



a su alta disponibilidad, bajo costo, carácter renovable, biodegradabilidad y competitividad económicamente en relación al petróleo (Avellán & Mendoza, 2020).

El desarrollo de materiales a base de polímeros orgánicos a partir de biomasa que sean biodegradables se ha enfocado en el almidón el cual es un material abundante y económicamente competitivo con el petróleo. Entre las principales fuentes de almidón para la industria podemos mencionar: la papa, el trigo, arroz, cebada, avena y soya. A pesar del alto contenido de almidón de estos productos, comprometer la producción de los mismos para la elaboración de derivados del almidón y no destinarlos para el consumo puede conllevar un problema en el futuro si en algún momento pelagra la seguridad alimentaria (Ruiloba et al., 2018).

# 1. Generalidades

## 1.1 Planteamiento del problema

El plástico es uno de los contaminantes más fuertes del mundo, ya que no se sabe la cantidad de años que se necesita para que este se descomponga, se dice que está entre los 450 años y nunca, si el plástico hubiera existido cuando los Peregrinos zarparon del puerto de Plymouth rumbo al Nuevo Mundo –y si el Mayflower se hubiese avituallado con agua embotellada y comida envasada–, sus residuos plásticos seguramente seguirán dando vueltas por ahí, cuatro siglos después (Parker, 2020).

Las basuras generadas en el siglo XX eran principalmente desechos biodegradables o reciclables, pero al incorporarse el plástico estos desechos se fueron acumulando debido a la resistencia que tiene este material, ya que cuenta con propiedades que los han hecho ampliamente usados como lo son la facilidad de trabajarlos, su baja densidad, su baja conductividad eléctrica y su resistencia.

En Colombia se estima que alrededor del 65% de los residuos sólidos generados en las poblaciones costeras son manejados inadecuadamente siendo finalmente dispuestos en tiraderos a cielo abierto o en cuerpos de agua naturales, como ríos que transportan estos residuos al mar, una vez en estos ecosistemas, los plásticos se deterioran por su exposición a la radiación solar, el oleaje y otros factores ambientales que provocan su fragmentación generando partículas menores como los microplásticos (Garcés-Ordóñez et al., 2019)

En Japón la cantidad de micro plástico se multiplica por 10 cada 2-3 años, la existencia de estos residuos genera un problema, ya que afecta a animales marinos que sufren daños por ingestión y atragantamiento, y así mismo afecta a aves, ya que un estudio arrojó que 82 de cada 144 especies estudiadas contenían fragmentos de plástico en sus estómagos (Espín, 2007).

Muchas micropartículas de plástico son fabricadas directamente así, como es el caso de las microesferas presentes en productos de higiene y limpieza como pastas de dientes o detergentes. Se calcula que cada bote de 100ml puede contener entre 130.000 y 2,8 millones de estas diminutas bolas de plástico que llegan al mar a través del desagüe, por su tamaño tan reducido (Sabaté, 2016).

En el 2015 Jenna Jambeck dijo que en el mar podían existir entre 4,8 y 12,7 millones de toneladas de plástico al año, afectando a una gran variedad de animales, ya que algunos quedan atrapados y otros los ingieren.

La contaminación marina se ha convertido en un problema global, debido a los impactos ecológicos y socioeconómicos negativos, en Colombia los manglares se ven afectados por la mala gestión de residuos sólidos, los plásticos son el componente principal en la basura marina (entre 60 y 90%), en Colombia el 65% de los desechos se eliminan en vertederos abiertos o en cuerpos de aguas naturales, estos plásticos se van deteriorando por exposición al sol,



convirtiéndose en micro plástico, los cuales pueden ser ingeridos por moluscos, y peces, (Garcés-Ordóñez et al., 2019) por esta razón se deteriora la calidad del ambiente y causa daños a la fauna y flora, por otra parte la cantidad de micro plástico es tan grande que se han encontrado estas partículas en productos de consumo común de las personas como el aire, la sal, la cervezas, afectando de manera directa la salud de los seres humanos.(Garcés-Ordóñez et al., 2019)

En cuanto a la parte terrestre, la mayoría de los residuos son desechados por actividades humanas, como lo son las botellas, empaques de comidas, envolturas, entre otros, muchos de estos residuos son tirados en vertederos y cubiertos, planteando así problemas a futuro.

Los plásticos cuando se crearon cambiaron la vida para bien, ya que facilitaron las cosas, como la aceleración de materiales en coches y aviones, se adhieren a los alimentos frescos, facilitan llevar alimentos o agua a poblaciones sin recursos, además salvaron la vida de los elefantes ya que en un principio muchas cosas se hacían a base de marfil, cabe aclarar que el marfil es un material complejo de trabajar y posee un costo elevado.

Algunas ventajas de los plásticos son que tienen densidad baja, poseen alto índice de elasticidad, soportan esfuerzos mecánicos y regresan a su posición original, la conductividad térmica de los plásticos no es buena por lo que pueden ser utilizados para utensilios de cocina, soportan ácidos débiles y soluciones saladas, su fabricación es económica y algunos son reciclables. (Timon, 2020).

Dicho lo anterior, la producción de plástico ha ido aumentando en los últimos 15 años, debido a que una buena parte del plástico está diseñada para tirarse a la basura unos pocos minutos después de su uso "No es de extrañar que hayamos saturado el sistema –dice Jambeck– . Semejante incremento colapsaría cualquier sistema que no estuviese preparado para absorberlo"(Parker, 2020).

La contaminación por plásticos se encuentra en ambientes terrestres y marinos y se degrada a micropartículas y nanopartículas de plástico. Estos pueden ingresar a la cadena alimentaria humana ya sea por inhalación o por ingestión, particularmente de mariscos y crustáceos (Waring et al., 2018). estudios realizados a nanopartículas sugieren que la toxicidad afecta al sistema nervioso y sistema reproductivo, aunque es poco probable a los bajos niveles de exposición.

La preocupación es muy grande debido a la gran cantidad de plástico que se están desechando y está afectando al medio ambiente, por esta razón los gobiernos deben endurecer más sus normativas e incluso si los países endurecen fuertemente las regulaciones, aún se tendrían dificultades para reciclar el 50% de los desechos de plástico en 10 años según un informe de Jefferies Financial Group (Bloomberg, 2020).

En china ya se pusieron planes para prohibir el plástico de un solo uso. Singapur endurecerá normativas para ciertas categorías de desechos plásticos, en África han puesto

restricciones para la fabricación de plástico, Francia prohibió el uso de platos y tazas plásticas. Muchos países ya están prohibiendo la fabricación y uso de este material y otros lo reciclan para poder disminuir la contaminación de estos.

La creciente contaminación por plásticos se ha convertido rápidamente en una crisis ambiental urgente. Según El Espectador, casi la totalidad de los 8.000 millones de toneladas de plástico que se han producido en la historia continúan existiendo en la actualidad (Bloomberg, 2020).

Esta problemática es la que está llevando a investigaciones sobre el desarrollo de materiales plásticos biodegradables, con las mismas propiedades, pero con periodos de duración más cortos, actualmente se han reportado más de 300 bacterias capaces de degradar los bioplásticos.

Hoy en día existen gran variedad de materias primas utilizadas para la fabricación de biopelículas, estas se consideran un reemplazo ideal para los envases de plástico convencionales, pero parece haber barreras considerables para un mayor desarrollo de la industria debido a la falta de coincidencia entre las características de los envases de bioplásticos y los productos a los que están destinados (Liliani et al., 2020), dicho lo anterior nos lleva a las preguntas ¿Qué alternativas de plásticos biodegradables a base de materias primas agrícolas, que se han sugerido en los últimos 20 años existen para la sustitución de plásticos derivados del petróleo en la industria de alimentos específicamente de bolsas y envases? ¿Qué fuentes agrícolas producidas en el departamento del Tolima pueden ser potencialmente usadas para la fabricación de plásticos biodegradables?

## 1.2 Justificación

Este trabajo surge por la necesidad de la indagación sobre la gran contaminación por plásticos a nivel internacional, debido a las alarmantes cifras que existen. Colombia produce 12 millones de toneladas de residuos sólidos de las cuales solo se recicla el 17% según Aco plásticos (Redacción Bibo, 2019). Además del gran impacto ambiental, provoca la muerte de muchos animales.

Lo que se busca con este trabajo es ampliar el panorama que se tiene sobre los plásticos biodegradables, su vida útil, la variedad de materias agrícolas con las cuales pueden ser fabricados, su costo, factibilidad y algunas ventajas y desventajas.

La producción de bioplásticos a partir de materias primas agrícolas tiene un gran potencial a futuro debido al importante aporte ecológico y al aprovechamiento de recursos naturales renovables los cuales impactan de manera positiva al ambiente y a la población.

Hoy en día existen diferentes tipos de materia prima con las cuales se pueden elaborar bioplásticos, algunos de estos productos son: cáscara de papa, yuca, mango, algas marinas, trigo, semilla de aguacate entre otros, además de ser productos abundantes en el ambiente son



productos renovables y muchos de estos se convierten en desperdicios, con el uso de estos frutos se puede mitigar el impacto ambiental, ya que su degradación, desintegración y compostaje se puede usar como fertilizante del suelo facilitando un mejor rendimiento de los cultivos.

El desarrollo exitoso del producto no solo consiste en implementar nuevas tecnologías, sino también en garantizar que se ajuste a las necesidades de los clientes y se convierta en una solución para los problemas de los clientes. Comprender las necesidades de los usuarios y proporcionar soluciones promoverá la aceptación del mercado de la nueva invención (Liliani et al., 2020).

Entre los resultados del presente trabajo se evidencian alternativas de plásticos biodegradables que ya se encuentran a nivel comercial y algunas que están siendo estudiadas nacional e internacionalmente, teniendo en cuenta características como tiempo de degradación, vida útil, costos, entre otros, con el fin de brindar información para mitigar el impacto ambiental a través de la disminución de los plásticos de un solo uso y aprovechamiento de fuentes agrícolas.

### **1.3 Objetivos del estudio**

#### **Objetivo general**

Analizar las alternativas de plásticos biodegradables a base de materias primas agrícolas que se han surgido en los últimos 20 años para la sustitución de plásticos derivados del petróleo en la industria de alimentos específicamente de bolsas y envases, que se puedan adaptar al contexto regional.

#### **Objetivos específicos**

- Identificar las alternativas a nivel nacional e internacional que se han propuesto para la sustitución de plásticos derivados del petróleo en el periodo de observación definido a partir de una revisión de literatura.
- Caracterizar y categorizar las diferentes alternativas de plásticos biodegradables, principalmente bolsas y envases plásticos utilizados en la industria de alimentos.
- Seleccionar las alternativas de productos agrícolas producidos en el departamento del Tolima potenciales para la elaboración de bioplásticos e identificar las principales ventajas y desventajas.

### **1.4 Aspectos metodológicos**

El tipo de investigación de este proyecto es descriptivo puesto que busca generar un estudio preciso y concreto del objetivo que se está analizando soportado por revisión documental, la metodología usada tiene como finalidad la descripción precisa del caso en estudio, y su propósito es exponer el tema investigado de manera detallada.

---

La información de este trabajo se desarrolló a través de una búsqueda literaria en bases de datos especializadas, repositorios académicos, trabajos de grado, proyectos de investigación enfocados en plásticos biodegradables, documentos de divulgación, libros y artículos indexados de prensa e informes corporativos, en un rango no mayor a 20 años

Para esta investigación se hizo uso de ecuaciones de búsqueda con palabras claves como: bioplásticos, residuos agrícolas, nuevos materiales, almidón, entre otros, utilizando recursos electrónicos como Science, Scopus, Google Académico y Scielo.

Posterior a la recolección de datos, se generó una lista con las diferentes fuentes para la producción de plásticos biodegradables, las cuales están siendo estudiadas, fabricadas y comercializadas a nivel nacional e internacional. Luego se clasificaron las alternativas más relevantes y de esta manera se identificaron las fuentes viables y adaptables para la realización del plástico biodegradable teniendo en cuenta su porcentaje de almidón.

Una vez identificadas las fuentes con mayor viabilidad, se indagaron características como el tiempo de descomposición, vida útil, tiempo de degradación, condiciones que alteran la vida útil y tipo de procesamiento. Además, se buscaron empresas que ya fabricaran y comercializaran los plásticos biodegradables. Con base a esta búsqueda se realizó una matriz de costos y se determinó la factibilidad. Para finalizar se depuraron las diferentes alternativas producidas en el departamento del Tolima realizando la selección de las mejores variables.



## 2. Marco conceptual

### 2.1 Generalidades de los plásticos

El término “plástico”, proveniente del griego “plastikos” significa “que puede ser moldeado por el calor”. Los plásticos también son comúnmente llamados “polímeros” en virtud de que son productos orgánicos a base de carbono, con moléculas de cadenas largas (Góngora, 2014) .

Debido a sus propiedades tienen una gran variedad de aplicaciones a nivel industrial, comercial y doméstico. Tienen la característica de poder cambiar de forma y conservar ésta de modo permanente, a diferencia de los materiales elásticos. Hoy en día, los plásticos se obtienen a partir del petróleo crudo, el gas natural (etileno, butadieno y propileno) y el carbón, mediante procesos químicos (Rubiano et al., 2011).

El plástico es un material inmensamente versátil, ideal para una amplia gama de aplicaciones industriales y de consumo, es de baja densidad además son resistentes a la corrosión de sustancias químicas, son duraderos y aptos en aplicaciones de alto rendimiento como el uso en dispositivos ópticos. Debido a estas atractivas propiedades se genera una gran cantidad de residuos plásticos, que se reprocessan inapropiadamente o se disponen en muchas ocasiones de forma inadecuada (Rubiano et al., 2011).

Por otro lado, los grandes avances logrados en la química e ingeniería química, se han desarrollado una gran cantidad de productos plásticos, dentro de los cuales los más conocidos y empleados son: (Rubiano et al., 2011).

- **PEBD:** Polietileno de baja densidad. Se encuentra en bolsas de supermercado y puede ser reciclado para nuevas bolsas.
- **PEAD:** Polietileno de alta densidad. Se encuentra en botellas de detergente o de aceite para motor; puede ser reciclado en macetas, cestos de basura y conos para señales viales.
- **PVC:** Cloruro de polivinilo. Se usa en botellas de shampoo o de aceites para cocina; puede ser reciclado en tubos de drenaje e irrigación.
- **PET:** Polietileno tereftalato. Se encuentra en envases de gaseosa y es reciclado para fibras de poliéster, flejes, láminas para termo formado y madera plástica.
- **PP:** Polipropileno. Se encuentra en recipientes para yogur, botellas de miel o tapas de botella; se puede reciclar en viguetas de plástico o cajas de baterías para autos.
- **EPS:** Poliestireno expandido. Se encuentra en tazas desechables para bebidas calientes, materiales de empaquetado, bandejas de carne y puede ser reciclado en viguetas de plástico y macetas.
- **PC:** Policarbonato. Empleado en pantallas protectoras de focos de iluminación de vehículos automotrices, pantallas de computadora, lentes de bajo peso para corrección visual.



## 2.2 Plásticos biodegradables

Los plásticos biodegradables son un tipo de plástico que se caracteriza por estar fabricado a partir de materiales orgánicos (se denominan con el prefijo “bio”) y que, en consecuencia, son biodegradables. Dicho lo anterior, este tipo de materiales imita al plástico convencional, pero no se puede estar hablando realmente de plástico, ya que no se produce a partir del petróleo. Sin embargo, debido a que su uso está destinado principalmente a la sustitución de los plásticos de un solo uso, se han popularizado con este nombre. (Arriols, 2018).

Como se afirmó arriba, los plásticos biodegradables se presentan como un complemento y en parte, como una alternativa a los plásticos comunes, un paso lógico y necesario hacia una industria de plásticos moderna y orientada al futuro (Dornscheidt et al., 2013). Actualmente el 65% de los plásticos biodegradables se utilizan en envases y productos de vida corta, aunque ha aumentado su empleo en medicina, agricultura, fabricación de juguetes, electrónicos, herramientas y autopartes (Vázquez et al., 2015).

En vista de lo anterior, los plásticos biodegradables podrían alcanzar similares condiciones en términos de resistencia y durabilidad, con el importante beneficio de ser amigables con el medio ambiente (RedacciónT21, 2012).

Es importante tener en cuenta las definiciones de bioplásticos, plásticos biodegradables, plásticos de base biológica y plástico biobasado:

- **Bioplásticos:** Plástico de base biológica y/o biodegradable (Dilkes-Hoffman et al., 2019)
- **Plástico biodegradable:** Plástico que puede biodegradarse completamente mediante la actividad biológica (es decir, mediante la acción de microorganismos como bacterias, arqueas, hongos y algas). En condiciones aeróbicas, los productos resultantes deberían ser en última instancia biomasa,  $CO_2$  y agua, mientras que en condiciones anaeróbicas los productos resultantes deberían ser biomasa,  $CO_2$ , metano y agua (Dilkes-Hoffman et al., 2019).
- **Plástico de base biológica:** Plástico derivado total o parcialmente de la biomasa (Dilkes-Hoffman et al., 2019)
- **Plástico biobasado:** Los plásticos biobasados son aquellos que se fabrican a partir de la biomasa la materia orgánica que compone a los seres vivos de recursos naturales renovables, generalmente plantas, algas y microorganismos (Salguero, 2020).

Dicho lo anterior, los plásticos de “base biológica” y “biodegradables” no son equivalentes, ya que la propiedad de la biodegradación está vinculada con la estructura química de un material y no con las materias primas que lo componen. De manera que, como se muestra en la Tabla 1, los plásticos de base biológica pueden o no ser biodegradables, y los plásticos biodegradables pueden tener tres tipos de orígenes diferentes: petrolífero, parcialmente biobasado o ser completamente biobasado (Sánchez & Sanz, 2020).

**Tabla 1**

*Tipos de plásticos biodegradables y no biodegradables según su origen.*

	<b>Petrolíferos</b>	<b>Parcialmente biobasado</b>	<b>Biobasado</b>
<b>No biodegradable</b>	PE, PP, PET, PS, PVC	Bio-PET, PTT	Bio-PET
<b>Biodegradable</b>	PBAT, PBS(A), PCL	Mezclas de almidón	PLA, PHA, celofán

*Nota:* información tomada de (Sánchez & Sanz, 2020)

Cabe señalar que la biodegradabilidad es la capacidad que tiene un material para descomponerse en subproductos como dióxido de carbono, agua, metano, biomasa o componentes orgánicos, lo cual es producto por la actividad microbiana y puede calificarse mediante estándares dentro de un determinado tiempo específico, donde las condiciones sean las más adecuadas (Cecilia, 2019).

Hay que mencionar que, los plásticos biodegradables requieren condiciones adecuadas y largos periodos de tiempo. Cuando se habla de biodegradabilidad, se desean polímeros que puedan degradarse en condiciones de rellenos sanitarios y en tiempos no mayores a 12 semanas. Se han desarrollado cuatro tipos de plásticos biodegradables: fotodegradables, semibiodegradables, biodegradables sintéticos y completamente biodegradables naturales (Ballesteros, 2014).

Los plásticos fotodegradables tienen grupos sensibles a la luz, como grupos carbonilos en poliestirenos y polietilenos, incorporados directamente al esqueleto del polímero. Con la luz ultravioleta (en varias semanas o meses), la estructura polimérica puede desintegrarse en una estructura abierta que le permite ser descompuesta a partículas de plástico más pequeñas, que en algunos casos son susceptibles de degradación por bacterias (Ballesteros, 2014)

Los plásticos semibiodegradables tienen azúcares unidos a fragmentos cortos de polietileno. En este caso, las bacterias degradan los azúcares y dejan libre el polietileno. En la actualidad se ha desarrollado otro tipo de plástico sintético degradable; es un plástico basado en alcohol polivinílico con estructura parecida al polietileno. La presencia de grupos hidroxilo en este polímero lo hacen hidrofílico y por tanto, soluble en agua (Ballesteros, 2014).

El cuarto tipo de plásticos son los completamente degradables naturales, estos sufren la degradación del material por medio de microorganismos hasta llegar a dióxido de carbono, agua, metano y biomasa en un periodo de tiempo razonable (Ballesteros, 2014). Existen diferentes tipos de plásticos biodegradables los cuales son:

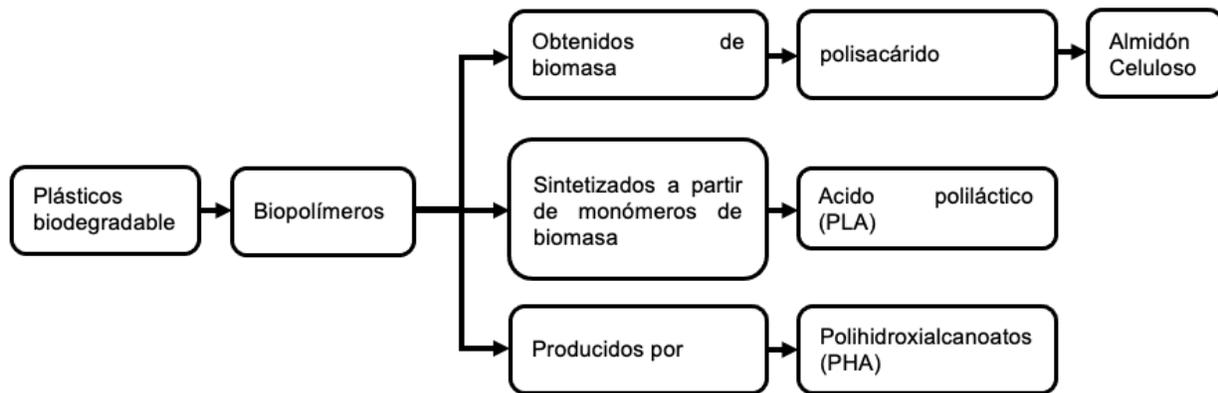
- **PLA (ácido poliláctico):** Derivado del ácido láctico hecho con materias primas 100% renovables. Apto para la manufactura de recipientes y embalajes que van a estar en contacto con alimentos (Raja el N° 1 Europeo del embalaje, 2019).



- **PHA (polihidroxicanoatos):** Procedentes de la fermentación bacteriana de materias primas vegetales. Se emplean en tapones y bolsas (Raja el N° 1 Europeo del embalaje, 2019)
- **Bioplásticos basados en almidón:** Más frágiles que los anteriores, su gran ventaja es que se degradarán con mayor celeridad (Raja el N° 1 Europeo del embalaje, 2019).
- **Bioplásticos basados en celulosa:** Rígidos y de una resistencia apreciable, se destinan a la generación de etiquetas y tapones (Raja el N° 1 Europeo del embalaje, 2019).

### Ilustración 1

Mapa conceptual plásticos biodegradables.



Nota: Elaboración propia

Es necesario recalcar que, el almidón al igual que otros polisacáridos como la celulosa, es degradado a compuestos de bajo peso molecular en presencia de medios ácidos, oxidativos o mediante enzimas. En todos los casos, el ataque se lleva a cabo principalmente sobre los enlaces estéricos presentes en las moléculas de amilosa y amilopectina, dando como resultado la ruptura del enlace acetal y la obtención de cadenas más cortas de almidón (A. García, 2015).

Por otro lado, la degradación del (ácido poliláctico) (PLA) ocurre principalmente a través de la escisión de las cadenas principales o laterales de estas macromoléculas. En la naturaleza, la degradación del polímero es inducida por la activación térmica, la hidrólisis, la actividad biológica (por ejemplo, enzimas), la oxidación, la fotólisis o la radiólisis (A. García, 2015).



La Tabla 2 muestra algunas características de los plásticos biodegradables y plásticos convencionales:

**Tabla 2**

*Características de los plásticos biodegradables vs plásticos convencionales..*

<b>Características</b>	<b>Plásticos biodegradables</b>	<b>Plásticos convencionales</b>
Ayuda a disminuir la contaminación	Si	No
Compostabilidad del material	Alta 100%	No
Degradable al 100%	Si	No
Reciclable	Si	No
Tiempo máximo de degradación al 90%	6 meses	Mayor a 100 años
Tiempo máximo de degradación al 100%	12 meses	Mayor a 100 años
Transparente	No	Si

*Nota:* Elaboración propia

Los plásticos biodegradables son amigables con el medio ambiente, se caracterizan por ser biodegradables en ambientes apropiados, con un tiempo determinado de biodegradación, tienen origen de materiales que provienen de fuentes de origen natural las cuales son renovables, esto da lugar a la compostabilidad del producto final y sus beneficios positivos al ambiente (Navarrete, 2015). Algunas características de este tipo de plásticos son:

- Disminuye el impacto ambiental negativo sobre el suelo y el agua
- Disminuye la mortalidad de animales marinos
- Conserva la energía
- Es libre de sustancias químicas que dañen el ambiente
- Mantiene la sostenibilidad del ecosistema
- Otorga valor agregado a las marcas

Por otro lado, es importante conocer sobre la descomposición de un plástico biodegradable, la cual consiste en una serie de procesos físicos y químicos por medio de los cuales los residuos se reducen a sus constituyentes químicos elementales, éste es uno de los procesos más importantes en los ecosistemas por su aporte de nutrientes al suelo (Álvarez-sánchez, 2001). La Tabla 3 muestra el tiempo de descomposición de los plásticos biodegradables a partir de fuentes agrícolas según estudios realizados por diferentes entidades y autores.



**Tabla 3**

*Tiempo de descomposición de plásticos biodegradables elaborados a base de fuentes agrícolas.*

<b>Fuente</b>	<b>Tiempo de descomposición</b>	<b>Referencias</b>
Aguacate hass	34 semanas	(Ciencia UANL, 2015)
Arracacha	En estudio	(Romero & Reina, 2015)
Arroz	En estudio	(Villalobos, 2014)
Batata	En estudio	(Acosta Dominguez, 2011)
Cáñamo	26 semanas	(Humboldt sedd organization, 2020)
Coco	13 semanas	(Planeta, 2017)
Piña	4 semanas	(Ecologismos, 2011)
Habas	En estudio	(Edición Impresa de el Campesino, 2018)
Maíz	12 semanas	(Economía circular, 2019)
Mango	24 semanas	(Tecnología del plástico, 2019)
Ñame	En estudio	(Benítez et al., 2008)
Papa	25 semanas	(Traxco, 2009)
Plátano	12 semanas	(Tecnología del plástico, 2016)
Trigo	12 semanas	(Economía circular, 2019)
Yuca	25 semanas	(Tecnología - emprendimiento, 2017)

*Nota:* Elaboración propia

Hay que mencionar, además que los plásticos biodegradables tienen una vida útil la cual es el periodo de tiempo durante el cual dicho producto debe conservar sus características fisicoquímicas, microbiológicas, sensoriales y funcionales (Mateus, 2018).

En consistencia con lo anterior, la elaboración del plástico biodegradable se encuentra en un constante proceso de biodegradación y si no se utiliza en menos de 18 meses el plástico biodegradable será obsoleto y se romperá con facilidad (Acción climática, 2020). La Tabla 4 relaciona las características físicas de la vida útil entre un plástico convencional a un plástico biodegradable.

**Tabla 4**

*Características de plásticos biodegradables vs plásticos convencionales.*

<b>Características físicas de la vida útil</b>	<b>Plásticos biodegradables</b>	<b>Plásticos</b>
Aislante eléctrico	Si	Si
Baja densidad	Si	Si
Elasticidad	Si	Si
Impermeables	Si	Si
Moldeable	Si	Si
Resistencia a la humedad	Parcialmente	Si
Resistente a la corrosión	Si	Si

*Nota:* información tomada de (Pizá et al., 2017)

Las Tablas 5 a la 7 muestran las características, tiempo de degradación y vida útil de algunos plásticos biodegradables, estos son de empresas nacionales, internacionales y algunos estudios académicos.



**Tabla 5**  
*Empresas nacionales.*

<b>Empresa nacional</b>	<b>Material</b>	<b>Vida útil</b>	<b>Tiempo de degradación</b>
Natpacking	Almidón de yuca	6 meses, tiempo desde que sale de la planta de producción	Se degradan en condiciones de compostaje natural por la acción de microorganismos (bacterias, hongos, algas) en máximo 180 días
Mahiz	Fécula de maíz (Compostables y biodegradable)	6 meses tiempo desde que sale de la planta de producción	A partir de los 2 a 6 meses de acuerdo al microclima de la compostera
Ekux	A base de maíz	12 a 18 meses en bodega	90 a 180 días
Compostpack	Almidón de maíz (Compostable)	12 meses	La velocidad de degradación dependerá del contacto con materia orgánica (acción de microorganismos) calor y humedad, están en un constante proceso de degradación.

*Nota:* Elaboración propia

**Tabla 6**  
*Empresas internacionales.*

<b>Empresa internacional</b>	<b>Material</b>	<b>Vida útil</b>	<b>Tiempo de degradación</b>
Avani	Almidón de yuca (compostables)	Información publica	no 100 días, se disuelve en minutos con agua caliente
BioFase	Semilla de aguacate	4 años	24 días según las condiciones ambientales
Kompuestos	Almidón de batata, maíz, soja	Información publica	no Información no publica

*Nota:* Elaboración propia



**Tabla 7**

*Estudios realizados.*

<b>Estudios realizados</b>	<b>Material</b>	<b>Vida útil</b>	<b>Tiempo de degradación</b>
Tec. de Monterrey Campus Sinaloa	Cascara de mango y almidón	En estudio	6 meses
CITE	Cascara de piña y tuna	En estudio	En estudio
Universidad de Chapingo en Texcoco (México)	Fibra de coco	En estudio	3 meses
Grupo de Investigación en Química Tecnología de Alimentos UPTC	Almidón de arracacha	En estudio	En estudio
Universidad Popular Autónoma de Puebla	Cascara de plátano	En estudio	1mes
	Cáñamo	Poca información	3 – 6 meses
Instituto Politécnico Nacional (México)	Cascara de papa	En estudio	4 – 5 meses
Universidad de Cádiz Aimplas y fermax	Cascara de arroz	En estudio	En estudio
	Paja de trigo	En estudio	En estudio

*Nota:* Elaboración propia

## 2.2.1 Fuentes para la producción de plásticos biodegradables

Los plásticos biodegradables más comunes se producen a partir de almidón y materiales lignocelulósicos.

### ▪ Almidón

El almidón es una mezcla de dos polímeros, amilosa y amilopectina, cuya proporción es relativa en cualquier almidón; el peso molecular específico y el tamaño de los gránulos, determinan sus propiedades fisicoquímicas y su potencialidad de aprovechamiento en ciertos procesos industriales (Martínez, 2007).

- **Amilosa:** La amilosa, posee pocas ramificaciones y tiene una gran tendencia a retrogradar, por lo que es considerada la principal causa de deterioro a corto plazo (Salinas et al., 2003).
- **Amilopectina:** La amilopectina es una molécula ramificada (Salinas et al., 2003), es más soluble en agua ya que las interacciones entre las cadenas son menos pronunciadas y la molécula puede ser solventada.

Una de las propiedades más importantes del almidón natural es su semicristalinidad donde la amilopectina es el componente dominante para la cristalización en la mayoría de los



almidones. La parte amorfa está formada por regiones ramificadas de amilopectina y amilosa (A. García, 2015).

Comercialmente las propiedades significativas del almidón, son su resistencia mecánica y flexibilidad, dependiendo de la resistencia y carácter de la región cristalina, la cual depende de la relación de amilosa y amilopectina y por lo tanto del tipo de planta, distribución del peso molecular, grado de ramificación y del proceso de conformación de cada componente del polímero (A. García, 2015).

Es importante conocer que el almidón requiere de procesos como la gelatinización que se define como la pérdida de cristalinidad de los granos de almidón en presencia de calor y altas cantidades de agua con muy poca o ninguna despolimerización. Los granos de almidón son insolubles en agua y en solventes orgánicos. En suspensión acuosa los granos se hinchan por la acción del calor, tienden a perder las propiedades que le confiere su estructura semicristalina y a una temperatura crítica forman un gel (A. García, 2015).

Durante la gelatinización el agua penetra inicialmente en las regiones amorfas iniciando el hinchamiento, lo cual se aprecia por la disminución en la birrefringencia. Luego el agua desaloja las cadenas de almidón desde la superficie de los cristales a medida que la temperatura; la movilidad térmica de las moléculas y la solvatación producida por las fuerzas de hinchamiento provocan una disminución de la cristalinidad por el desenrollado de las dobles hélices, hasta que la estructura granular es fragmentada casi completamente obteniéndose un sólido – gel (A. García, 2015)

Dicho lo anterior también es importante recalcar el proceso de desestructuración del almidón natural ya que es la transformación de los granos de almidón semicristalino en una matriz homogénea de polímero amorfo y en la destrucción de los enlaces de hidrógeno entre las moléculas de almidón, de un lado y la despolimerización parcial de las moléculas del otro. Los factores fisicoquímicos que participan en el proceso son: temperatura, esfuerzo cortante, velocidad de cizalladura, tiempo de residencia, contenido de agua, y cantidad total de energía aplicada. La amilopectina se despolimeriza inicialmente y luego la amilosa, con la aplicación de mayor energía (Ruiz Avilés, 2005).

La desestructuración también puede ocurrir cuando se aplica calor. El aumento de temperatura incrementa la solubilidad del almidón en agua produciéndose una despolimerización significativa alrededor de los 150 °C, sin embargo, solamente por encima de 190 °C puede confirmarse el incremento de la solubilidad. Cuando se aumenta el contenido de humedad de la mezcla disminuye el grado de desestructuración (Ruiz Avilés, 2005).

Por otro lado, no solo el almidón es un componente natural para la realización de productos biodegradables, sin embargo, algunos estudios han demostrado que se encuentran



materiales lignocelulósicos, los cuales han servido para la fabricación de plásticos de base biológica.

## ▪ **Materiales lignocelulósicos**

### **Celulosa**

La Celulosa es el principal componente de las paredes celulares de los árboles y otras plantas. Es una fibra vegetal que al ser observada en el microscopio es similar a un cabello humano, cuya longitud y espesor varía según el tipo de árbol o planta (Estrada, 2010).

Además, la celulosa constituye una fuente de glucosa prácticamente inagotable que se renueva de forma continua mediante la fotosíntesis. Se encuentra en las frutas, las hortalizas y los cereales como constituyente estructural de las paredes celulares, y también la producen ciertos microorganismos (Estrada, 2010).

- **Hemicelulosas:** Las hemicelulosas funcionan como almacén de sustancias de reserva y realizan funciones reguladoras (la hidrólisis enzimática de las hemicelulosas genera oligosacáridos que presentan actividad biológica), estructurales y de control de la expansión celular (Rivas, 2014).
- **Lignina:** La lignina representa típicamente entre un 10-25% en peso seco de los MLCs (Material lignocelulósico). Rodea y protege a las fibras de celulosa lo que le da una mayor rigidez a las células, impermeabilizándolas y protegiéndolas de ataques enzimáticos (Rivas, 2014).

Con respecto a las propiedades físicas y químicas que se miden de la celulosa tienen que ver con variables que son relevantes para predecir su desempeño una vez que se convierta en papel. Por tanto, las principales propiedades que se miden de la celulosa son (Sanz Tejedor, n.d.):

- **Volumen específico:** Es el inverso de la densidad. En general se prefiere fibras con alto volumen específico debido a que permite hacer una hoja de igual espesor con un menor peso (Sanz Tejedor, n.d.).
- **Índice de tensión:** Mide la resistencia a la tracción que tiene un papel con esa celulosa (Sanz Tejedor, n.d.)
- **Índice de rasgado:** Mide la energía que es necesaria para rasgar un papel, tal como se hace cuando se corta una hoja con las manos (Sanz Tejedor, n.d.).
- **Largo de fibra:** Mide el largo promedio de las fibras de celulosa (en milímetros) (Sanz Tejedor, n.d.).
- **Drenabilidad:** Mide la facilidad con que la celulosa evacua el agua que contiene. Es importante para producir papel dado que cuando se forma la hoja, el contenido de agua es de entre 98% y 99% en peso (Sanz Tejedor, n.d.).
- **Contenidos de finos:** Mide la cantidad de elementos no fibra en la celulosa.



- **Viscosidad:** Mide la fricción interna de una mezcla de agua con fibras de celulosa. Es un indicador del grado de polimerización (largo de las cadenas) de las fibras de celulosa (Sanz Tejedor, n.d.).
- **Contenido distribución:** En peso del contenido de la celulosa. Por tradición el contenido se clasifica en Alfa-celulosa: celulosa propiamente ; Beta-Celulosa: celulosa degradada (acortada) y algo de hemicelulosa; Gamma-Celulosa: principalmente hemicelulosa; Lignina; Cenizas: principalmente compuestos de silicio; y Extraíbles: que consisten en ácidos resinosos y ácidos grasos (Sanz Tejedor, n.d.).

En la tabla 8 se presentan algunas ventajas del almidón y la celulosa como componentes naturales fundamentales que aportan a un plástico biodegradable

**Tabla 8**  
*Ventajas del almidón y la celulosa.*

Almidón	Celulosa
<p>El almidón suele utilizarse como agente espesante en diferentes procedimientos, generando algunas de las siguientes ventajas(A. García, 2015):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Es el segundo biopolímero más abundante.</li> <li>▪ Buenas propiedades mecánicas.</li> <li>▪ Sellable e imprimible sin tratamiento superficial.</li> <li>▪ Barrera a gases como el <math>CO_2</math> y <math>O_2</math>; así como aromas (semejante al PET y al nylon).</li> <li>▪ Intrínsecamente antiestático.</li> <li>▪ Hidrosoluble.</li> <li>▪ Versátil, ya que se puede modificar químicamente.</li> </ul>	<p>Es un aislante totalmente ecológico. Los componentes de la celulosa son inofensivos y no causan alergias ni enfermedades de la piel (Ecoisola aislamiento ecológico, n.d.).</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Gracias a su textura, se puede insuflar el material incluso en las áreas más difíciles de alcanzar.</li> <li>▪ Otra ventaja fundamental que tiene este material es que se distribuye homogéneamente en todos los huecos, evitando juntas y zonas que se quedan sin aislar y evitando, así, las humedades intersticiales y los puentes térmicos.</li> <li>▪ Se necesita muy poca energía para su aplicación.</li> <li>▪ Cuenta con muy buenos valores en la resistencia al fuego.</li> </ul>

*Nota:* Elaboración propia

### ▪ **Porcentaje de almidón y celulosa en diferentes fuentes agrícolas**

Los polímeros naturales son los producidos por los organismos vivos y son esenciales para la vida, algunos pueden ser extraídos y modificados en plásticos para un uso comercial, como el caucho natural y los polisacáridos (almidón, celulosa), proteínas, entre otros.

A continuación, se relacionan algunos ejemplos de polímeros que son extraídos y modificados en bioplásticos (Gómez Ayala & Yory Sanabria, 2018):



**Tabla 9**

*Porcentajes de almidón y celulosa de diferentes fuentes agrícolas.*

Fuente	Almidón		Celulosa	Referencia
	Porcentaje (%)	g/100 gramos	Porcentaje (%)	
Cáñamo	-	-	65 - 70	(Sensi Seeds, 2020)
Cascara de la papa	82	-	-	(Huaranga & Cajahuaman, 2020)
Cascara de mango	66.91 - 70	-	-	(Villalta, 2018)
Cascara de piña	70	-	-	(Florio R, 2019)
Cascara de plátano	65.89	-	-	(Hernández et al., 2017)
Fibra de coco	-	-	35.9	(Rincón et al., 2016)
Grano del arroz	89 - 90	-	-	(Martínez, 2007)
Grano del maíz	71	-	-	(Martínez, 2007)
Grano del trigo	70 - 74	-	-	(Rampton, 2016)
Paja de trigo	-	-	39	(Baltierra-Trejo et al., 2016)
Pulpa de habas verde	16.78	-	-	(Calvimontes V. et al., 2014)
Pulpa ñame	-	83.6	-	(González Vega, 2012)
Raíz de la arracacha	10 - 25	-	-	(Romero & Reina, 2015)
Raíz de la batata	-	17.7	-	(Arroyo et al., 2018)
Semilla de aguacate hass	67.69	-	-	(Chapuel & Reyes, 2019)
Semilla de mango	60.44	-	-	(Ruiloba et al., 2018)
Yuca	77	-	-	(Ospina & Ceballos, 2002)

*Nota:* Elaboración propia

Algunos alimentos presentan propiedades atractivas para la industria de plásticos biodegradables, como lo es su alto porcentaje de almidón, algunas de estas fuentes naturales son: arroz, papa, yuca, maíz

## 2.3 Normatividad

En Colombia, uno de los avances que se ha logrado para disminuir el consumo excesivo de plásticos (Mocayo, 2017) es la resolución 668 del 28 de abril de 2016 “por la cual se reglamentó el uso racional de bolsas plásticas y se adoptaron otras disposiciones” (Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, 2016), la cual ayudó a la implementación de la ley 1819 del año 2016 en la que “a partir de julio del año 2017 se pagará un impuesto de \$20 por cada bolsa plástica y que el valor incrementará \$10 por cada año hasta el 2020”.

El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible optó por la resolución No 1407 del 26 de Julio de 2018, en la que se establece: “La gestión ambiental de los residuos de envases y



empaques de papel, cartón, plástico, vidrio, metal y se toman otras determinaciones”, esta resolución es considerada como un decreto importante puesto que involucra todos los componentes que contaminan el medio ambiente, además; intenta proponer que se tomen medidas o alternativas para la producción de estos, aclarando que si alguna empresa lleva al incumplimiento de este tipo de obligaciones puede llegar a tener una represión por ello (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2018).

Mientras tanto, la Ley 1973 de 2019 regula y prohíbe el ingreso, comercialización y uso de bolsas y otros materiales plásticos en el departamento Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina e Islas menores que lo componen (Congreso de Colombia, 2019)

Se debe agregar que El Congreso de la República de Colombia propuso el proyecto de Ley 2019-2020 la cual indica lo siguiente:

“Se establecen medidas tendientes a la reducción de la producción y el consumo, de los plásticos de un solo uso en el territorio nacional, se regula un régimen de transición para reemplazar progresivamente por alternativas reutilizables, biodegradables u otras cuya degradación no genere contaminación, se crean mecanismos de financiación se dictan otras disposiciones” (Congreso de la republica de Colombia, 2020).

Esta ley establece medidas preventivas para la reducción de la producción, y consumo de plásticos de un solo uso por parte de la industria y la comunidad. Esto ha incentivado las alternativas sobre la reutilización por centros educativos, empresas nacionales e internacionales, además aumenta el interés por la fabricación de plásticos biodegradables por medio del almidón natural de las frutas y verduras.

Por otra parte, se encuentran las normas internacionales que apoyan el crecimiento de fabricación y comercialización de plásticos biodegradables como lo son:

La norma EN 13432 (Europa) “Requisitos de los envases y embalajes valorizables mediante compostaje y biodegradación” y la norma EN 14855 “Determinación de la biodegradabilidad aeróbica final y desintegración de materiales plásticos en condiciones de compostaje controladas” (Salguero, 2020).

ASTM D6400-99 (Estados unidos) “Especificación standard para los plásticos compostables”, es una norma que establece los requisitos para su comercialización; y la norma ASTM D5338-98 “Método de ensayo standard para la determinación de la degradación aeróbica de los materiales plásticos en condiciones controladas de compostaje” es una norma de procedimiento para medir la degradación aeróbica (Salguero, 2020)

Existen y están en vigencia las Normas IRAM 29420 (Argentina) “Materiales plásticos biodegradables y/o compostables – Terminología”. La norma IRAM 29421 “Materiales y



productos plásticos biodegradables y compostables. Requisitos para su valorización mediante compostaje” y la norma IRAM 29422 “Determinación de la biodegradabilidad aeróbica última de los materiales plásticos bajo condiciones controladas de compostaje. Método por análisis del dióxido de carbono producido”; este conjunto de normas determinan las condiciones de laboratorio para la biodegradación aeróbica de materiales plásticos en condiciones de compost, tanto de la materia prima como del producto elaborado (Salguero, 2020).

### **3. Proceso productivo para la elaboración de plásticos biodegradables a base de almidón**

En la elaboración de los plásticos biodegradables, la materia prima utilizada son el almidón y la celulosa obtenidos a partir de (tubérculos, granos y frutas). Cabe aclarar que en el presente informe se tendrá en cuenta la definición de celulosa puesto que es una alternativa para realizar productos biodegradables que pueden ser compostados; sin embargo, el objetivo de la presente tesis está enfocado en la alternativa de plásticos biodegradables con características similares a la de un plástico convencional.

#### **3.1 Materia prima – almidón**

Es necesario recalcar que el almidón termoplástico después de su procesamiento: la cristalinidad residual clasificada en las formas tipo A, B y C causadas por la fusión incompleta durante la plastificación y la cristalinidad inducida durante el procesamiento, de acuerdo a los arreglos generados en las cadenas poliméricas. Según Sandoval et al (2005), el tipo A es común en almidones de cereales, el B en tubérculos y el C en ciertas raíces y semillas. La cantidad de cristalinidad residual está relacionada con la temperatura y el esfuerzo de corte aplicado durante el procesamiento; de igual manera la composición de la mezcla de alimentación también influye indirectamente en esta cantidad de cristalinidad remanente (A. García, 2015).

En la Tabla 10 se presentan diferentes fuentes de origen natural para la obtención de la materia prima (almidón) para la fabricación de plásticos biodegradables y se agrupan dependiendo la clasificación de los alimentos.



**Tabla 10**  
*Fuentes de origen natural para la obtención de almidón.*

<b>Grupo de alimentos</b>	<b>Fuente</b>
Frutos	Aguacate has Coco Piña Mango Plátano
Granos	Arroz Cáñamo Habas Maíz Trigo
Tubérculos	Arracacha Batata Ñame Papa Yuca

*Nota:* Elaboración propia

### **3.2 Extracción del almidón**

La extracción del almidón puede realizarse a nivel artesanal y también a un nivel más tecnificado y a mayor y menor escala, dependiendo de cada empresa; sin embargo, el proceso suele ser el mismo, con la diferencia de los volúmenes de procesamientos. Existen diferentes métodos de extracción de almidón los principales y más generales son: El método seco y el método húmedo (Guadrón de Delgado, 2013).

Como se menciona anteriormente, el método seco consiste en la molienda del fruto después de secado, obteniendo de este proceso harina, para su posterior tamizado y así obtener el almidón. Tomando en cuenta las operaciones pequeñas que se llevan a cabo de manera intermedia de los procesos anteriores para facilitar el desarrollo del método y obtener un producto final de calidad y con características que sean deseables en el almidón (Guadrón de Delgado, 2013).

Mientras tanto, el método húmedo consiste en la trituración o reducción de tamaño de la materia prima y el retiro en medio líquido, para aquellos componentes de la pulpa que son relativamente más grandes, como la fibra y proteína, posteriormente, se facilita la eliminación del agua por decantación y se lava el material sedimentado para eliminar las últimas fracciones diferentes del almidón y finalmente someter al almidón purificado a secado. (Guadrón de Delgado, 2013)



### 3.2.1 Extracción de almidón a partir del grupo de alimentos: frutas

Para iniciar con el proceso de extracción de almidón en un fruto ya sea cascara, semilla o pulpa se realizan los siguientes pasos:

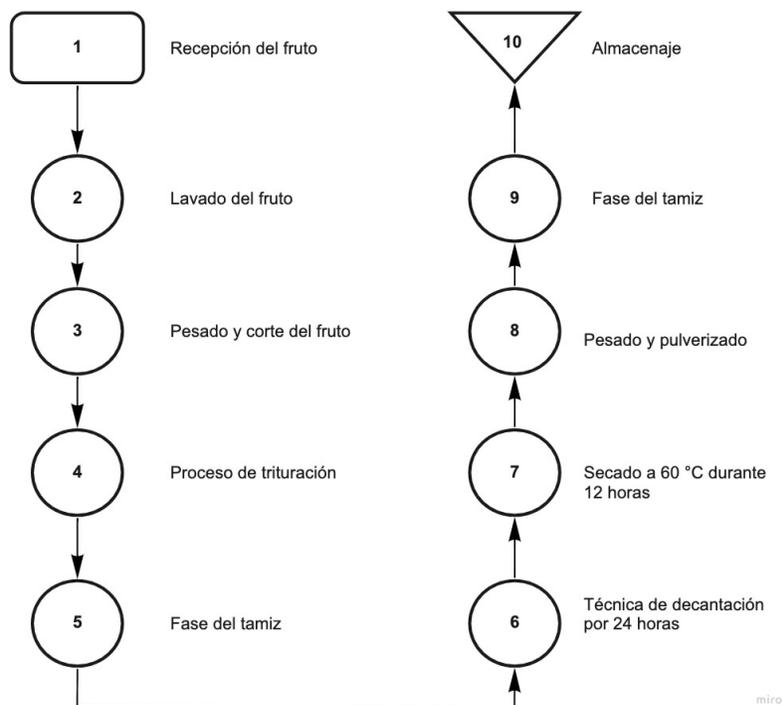
Se lava el fruto de selección pertinente para retirar todo tipo de impureza, seguidamente se pesa y corta finamente; luego se tritura y pasa por tamices con abertura de  $200\mu m$  y  $400\mu m$ , la suspensión obtenida se deja decantar por 24 horas para que el sólido se sedimente (Chapuel & Reyes, 2019).

El almidón obtenido se seca a  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$  durante 12 horas, se pesa y se pulveriza en un molino para posteriormente pasar a través de un tamiz con un tamaño de partícula de  $125\mu m$  (Chapuel & Reyes, 2019).

Cabe aclarar que se realiza el mismo proceso en semillas, con la diferencia de que a la semilla previamente lavada se le debe retirar el mesocarpio y epicarpio, para luego continuar con el procedimiento

#### Ilustración 2

Diagrama de proceso extracción de almidón en frutas.



Nota: Elaboración propia



### 3.2.2 Obtención de almidón a partir del grupo de alimentos: granos

- Molienda húmeda

Es una técnica que permite separar algunas de las partes del grano en sus constituyentes químicos. Cuando se le realiza al arroz se obtienen almidones y otros productos. A continuación, se describe el método (Espe, 2015)

- Secado

Para un adecuado almacenamiento del grano se debe efectuar un secado a temperaturas menores a 54 °C, ya que si se realiza a temperaturas mayores se pueden producir alteraciones en la proteína, que provocan el hinchamiento del grano en la maceración y una mayor tendencia de éste a retener el almidón (Espe, 2015).

- Maceración

Tras una limpieza del grano, éste se sumerge en agua, con un contenido del 0,1 - 0,2 % de SO<sub>2</sub> (Dióxido de azufre), la temperatura se controla para que permanezca entre los 48 - 52 °C, y se mantiene así durante 30 – 50 horas. A este proceso se le denomina maceración, y se realiza en una serie de depósitos a través de los cuales se bombea agua a contracorriente, con este proceso el grano se ablanda, por lo tanto, favorece la posterior separación de cáscara, germen y fibra (Espe, 2015).

- Separación de germen

Una vez macerado el grano, este se debe triturar con agua en un molino de fricción (Espe, 2015)

- Separación almidón - proteína

Después de la separación del germen, el material restante se criba y las partículas más gruesas como cáscara y trozos de endospermo se vuelven a moler con rodillos de piedras, de puntas de acero o de impacto (Espe, 2015).

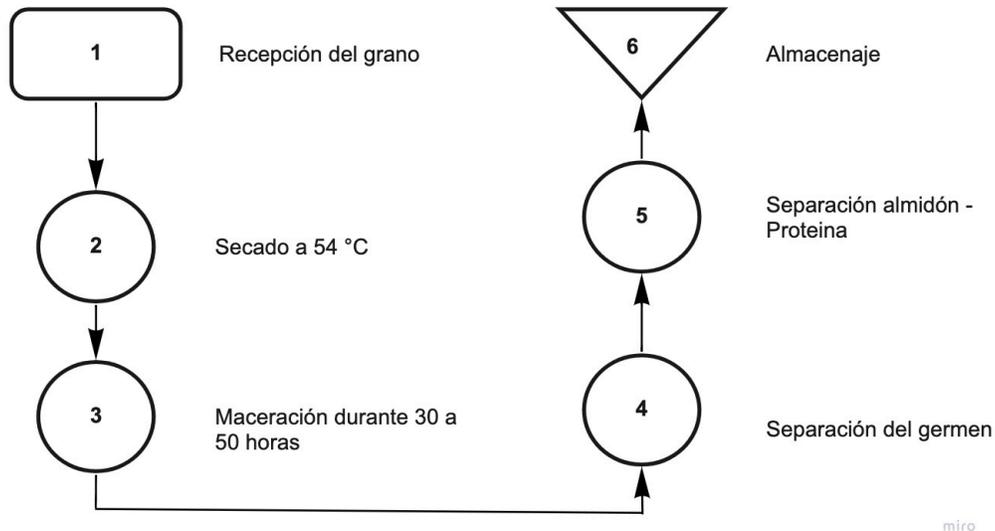
Para la extracción de proteínas se realiza el siguiente procedimiento: Una parte de harina se suspende en 7 partes de agua en la cual se disuelve el agente extractante, el pH se ajusta adicionando NaOH 6N y el sistema se mantiene en agitación constante con un sistema de aspas a 300 r.p.m. Al finalizar el periodo de extracción la suspensión se centrifuga a 3000 r.p.m., el sobrenadante se recoge y el precipitado (almidón), se lava con agua (Espe, 2015).

El almidón, una vez separado, contiene todavía mucha proteína y debe ser purificado por medio de centrifugación o con hidrociclones, aunque más pequeños y en mayor número que los utilizados en el caso del germen; el almidón obtenido, se filtra y seca a 5 – 12% de humedad en hornos o túneles de secado, y posteriormente, se suele secar hasta el 1 - 7%, según países mediante secado a vacío (Espe, 2015).



**Ilustración 3**

Diagrama de proceso extracción de almidón en granos.



Nota: Elaboración propia

**3.2.3 Extracción de almidón a partir del grupo de alimentos: tubérculos**

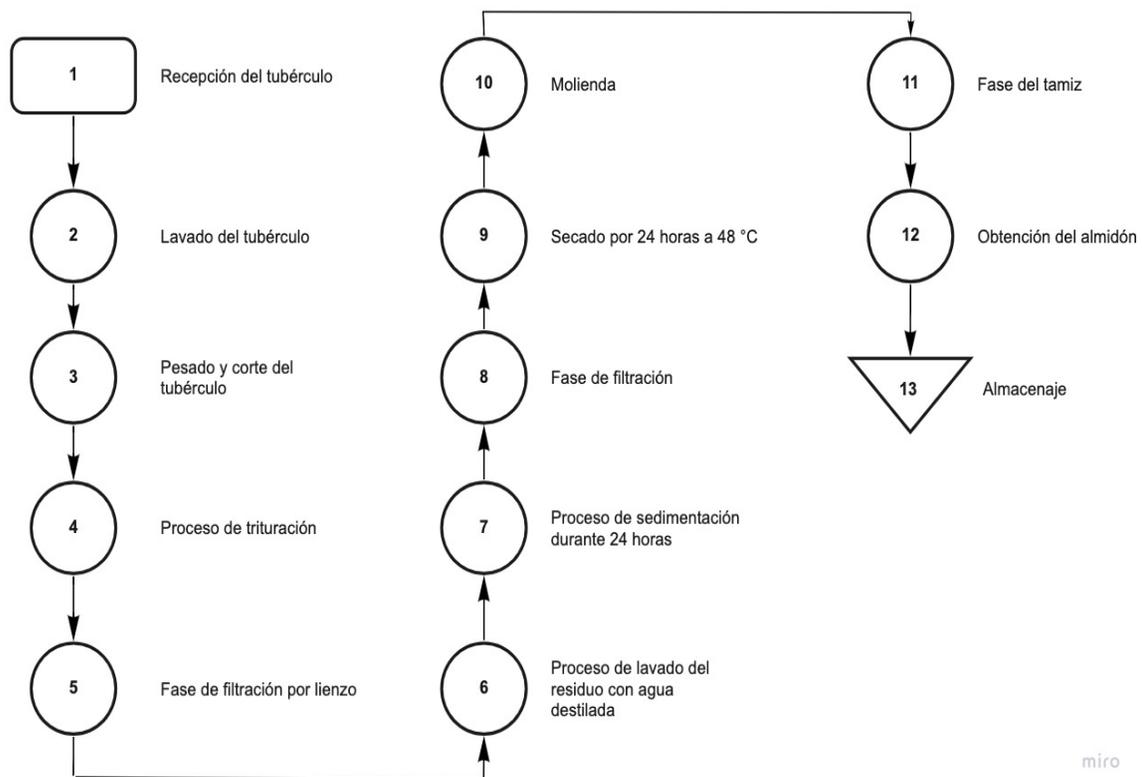
La extracción se lleva a cabo de la siguiente manera: se lavan los tubérculos en solución desinfectante de 200 ppm, para posteriormente pelar y cortar en finas rodajas, luego se tritura y se le adiciona 0,005 kg de metabisulfito/L de agua para evitar el pardeamiento enzimático, después se filtra con un lienzo y el residuo sólido se lava varias veces con agua destilada para retirar todo el almidón hasta que el líquido salga claro (Vera Bravo & Chavarría Chavarría, 2020).

Se continua con una sedimentación durante 24 horas, posteriormente se separa el agua presente y luego se filtran los sedimentos con lienzos para remover fibras, la pasta resultante se somete a secar por 24 horas a 48 °C; finalmente se muele y se tamiza para obtener el almidón (Vera Bravo & Chavarría Chavarría, 2020).



#### Ilustración 4

Diagrama de proceso extracción de almidón en tubérculos.



Nota: Elaboración propia

### 3.3 Etapas de manufactura de plásticos biodegradables

Hay que mencionar que para convertir un almidón seco en un material bioplásticos es necesario romper y fundir la estructura granular semicristalina del mismo. El almidón sin los aditivos adecuados (plastificantes) no tiene las propiedades necesarias para trabajar como termoplástico. Los plastificantes incrementan la flexibilidad del almidón debido a su habilidad para reducir la interacción de los enlaces de hidrógeno, además de aumentar el espacio molecular (A. García, 2015).

Los plastificantes generalmente se adicionan para convertir el almidón en un material termoplástico (TPS), con el fin de obtener formas extruidas u objetos moldeados. Pueden definirse como sustancias de bajo peso molecular que se incorporan en una matriz polimérica para incrementar su flexibilidad y su procesabilidad. Los plastificantes deben ser compatibles con el polímero formado. Ellos reducen las fuerzas intermoleculares e incrementan la movilidad de las cadenas poliméricas (Ruiz Avilés, 2005).



Con respecto a la maquinaria utilizada es la misma que la de un plástico convencional. Donde las tres grandes áreas son las de extrusión, laminado y corte (C. García & López, 2013).

### 3.3.1 Extrusión

Una vez obtenido el almidón se calienta a temperaturas cercanas a su punto de fusión, con lo que se vuelven inestables y se pueden moldear con facilidad, para ser sometidos de forma simultánea a un tiraje vertical y a un proceso de soplado en sentido transversal, creando un auténtico globo de plástico (Farfán et al., 2018).

### 3.3.2 Laminado

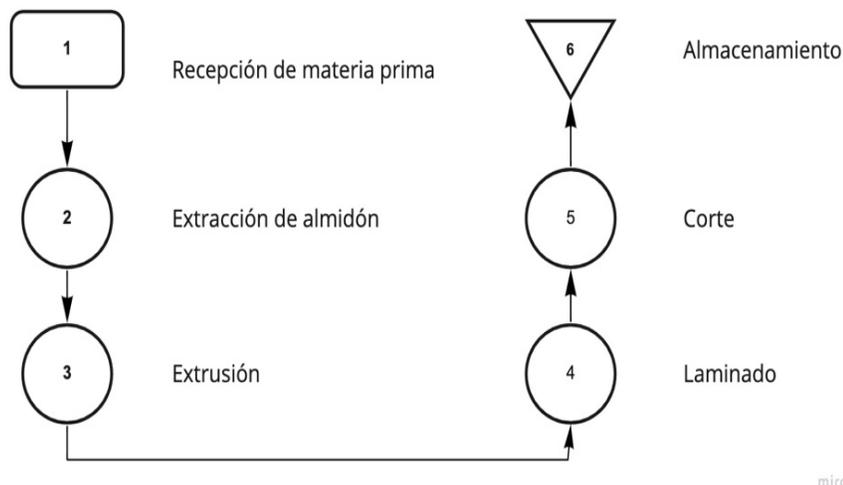
Es el proceso por el cual, a través de unos rodillos, la materia prima pasa para luego definir el grosor de la bolsa dependiendo del tipo de uso que se le quiera dar (Farfán et al., 2018).

### 3.3.3 Corte

Después del proceso de laminado, lo primero que se hace en el proceso de corte es programar la máquina cortadora con los parámetros necesarios para darle la forma que se desee. Posteriormente, se procede a dividir, de forma transversal, mediante una cuchilla y unos cabezales que cortan y sueldan la base y la cabeza de las bolsas. La misma máquina cortadora va formando paquetes de bolsas una vez completado cada paquete. Durante todo el proceso de extrusión, laminado y corte se siguen unos controles de calidad (Farfán et al., 2018).

#### Ilustración 5

Diagrama de proceso elaboración de un plástico biodegradable.



Nota: Elaboración propia



### 3.4 Costos de fabricación de bolsas biodegradables

Actualmente en Colombia existen empresas que se encuentran en el desarrollo y comercialización de productos 100% compostables y biodegradables que están elaborados a base de materias primas renovables, la cual los hace atractivos para el sector de la industria, ya que su vida útil y tiempo de degradación es más corto que el de un plástico convencional.

Para los costos de fabricación se tendrá una estimación por experiencia comercial de ganancia del 40% por unidad, de esta manera se seleccionaron 4 empresas potenciales de Colombia las cuales se presentarán en la Tabla 11. Cabe resaltar que el costo de fabricación y la ganancia fue un estimado, ya que las empresas no comparten dicha información puesto que es confidencial.

**Tabla 11**  
Costos.

Empresa	Unid	Tamaño	Fuelle (mm)	Dimensión (Cm) ancho x alto	Calibre	Capacidad de carga (Kg)	Precio (\$ COP)	Precio por unidad (\$COP)
Natpacking	100	Pequeño	21	14*30	40 $\mu m$	1.5 - 2.5	\$43.500	\$435
		Mediano	33	19*40	40 $\mu m$	3.0 - 4.0	\$89.300	\$893
		Grande	38	28*55	40 $\mu m$	5.0 - 6.0	\$136.000	\$1.360
	50	Extra	41	27*60	40 $\mu m$	7.0 - 8.0	\$80.000	\$1.600
Mahíz	50	Pequeño	5	20*30	Nd*	4.0	\$15.100	\$302
	50	Mediano	7,5	20*50	Nd*	8.0	\$35.600	\$712
Ekuox	50	Mediano	14	20*45	1mm	2.0	\$35.300	\$706
	50	Extra	16	30*60	1mm	6.0	\$48.000	\$960
Compostpack	50	Grande	9	31*55	1 $\mu m$	7.0	\$30.000	\$600

Nota: Elaboración propia



- Nd: No disponible
- $\mu\text{m}$ : Micrómetro
- mm: Milímetro
- cm: Centímetro
- Kg: Kilogramo

### **3.5 Factibilidad de fabricación de un plástico biodegradable**

Es importante decir que en la presente investigación un plástico biodegradable puede cumplir las mismas características que un plástico convencional con la diferencia que este va estar en constante degradación limitándose en la carga de algunos productos, es decir si la bolsa permanece por un tiempo prolongado en exposición directa con productos líquidos o húmedos esta se debilitará hasta perder su capacidad de carga, del mismo modo si se exponen a altas temperaturas por periodos prolongados esta se deteriorara y acelerara el proceso de biodegradación.

Finalmente, la fabricación y comercialización de los plásticos biodegradables es factible, puesto que muchas empresas ya están produciendo este tipo de productos a base de componentes agrícolas en diferentes presentaciones como lo son bolsas, envases, pitillos, entre otros.



## **4. Análisis del potencial para la producción de plásticos biodegradables en el departamento del Tolima**

### **4.1 Producción agrícola en el departamento del Tolima**

La riqueza del suelo tolimense y las condiciones climáticas convierten al Tolima en una gran despensa agrícola, en cada uno de los municipios se produce una variedad de alimentos, que además de brindar posibilidades de auto sostenimiento a las familias, generan alternativas de emprendimiento y a la vez se convierten en inspiración para innovarse cada día (El Nuevo día, 2021).

Los principales productos agrícolas que produce el Tolima son los siguientes:

- Arroz, Plátano, Café, Aguacate, Caña Panelera, Arracacha, Mango, Maíz, Yuca, Limón (Galindo, 2018).
- Papa, Banano, Frijol, Algodón, Piña, Guanábana, Tomate, Tomate De Árbol, Mora (Galindo, 2018).

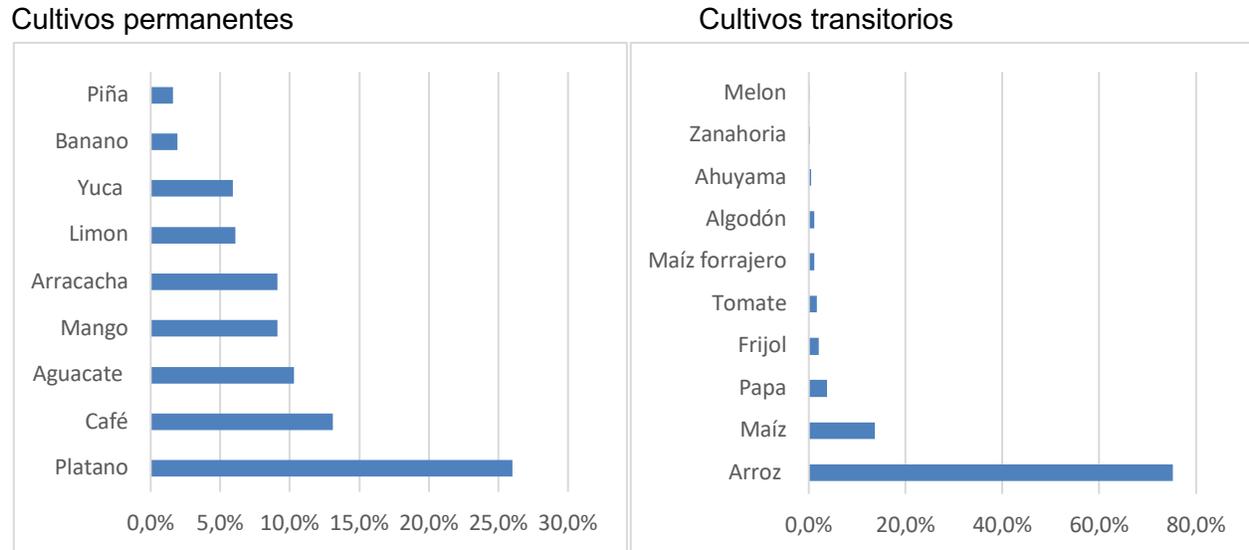
Cachaco, Limón Tahití, Cacao, Lulo, Guayaba, Mandarina, Limón Pajarito, Ahuyama, Papa Criolla, Naranja, Bananito, Gulupa, Maracuyá, Zanahoria, Mango Injerto, Melón, Habichuela, Tomate Invernadero, Sorgo, Papaya, Caucho, Pepino Cohombro, Arveja, Cebolla De Rama, Guayaba Manzana, Cítricos, Fresa, maní, Pitahaya, Granadilla, Frijol Voluble, Patilla, Repollo, Mangostino, Plantas Aromáticas, Ajonjolí, Ciruela, Hortalizas Varias, Frijol Arbustivo, Estropajo, Cilantro, Flores y Follajes (Galindo, 2018)

### **4.2 Productos agrícolas del departamento del Tolima potenciales para la elaboración de plásticos biodegradables**

La seguridad alimentaria del departamento de Tolima debe concentrarse en 397.200 hectáreas, las cuales según estudios del Instituto Geográfico Agustín Codazzi cuentan con los mejores suelos para cultivar. El Tolima ocupa el puesto 11 de los 32 departamentos que conforman el territorio nacional, con mayor cantidad de hectáreas aptas para el desarrollo de cultivos (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2016).



**Ilustración 6**  
Estructura agrícola del Tolima.



Nota: Información tomada de (Oficina de Estudios Económicos, 2021).

Fuente: Base Agrícola EVA - Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Fecha de Publicación: 07 de noviembre de 2018

\* Reporte segundo semestre 2017 a primer semestre 2018

A continuación, se expone la tabla 12 en donde se hace una depuración de todos los productos para seleccionar los que se cultivan en el departamento del Tolima:

**Tabla 12**  
Productos agrícolas departamento del Tolima.

Materia prima	Producido en el Tolima
Aguacate hass	Si
Arracacha	Si
Arroz	Si
Batata	No
Cáñamo	No
Coco	No
Corona de piña	Si
Habas	No
Maíz	Si
Mango	Si
Ñame	No
Papa	Si
Plátano	Si
Trigo	No
Yuca	Si

Nota: Elaboración propia



### 4.3 Mejores alternativas para producir plásticos biodegradables en el departamento del Tolima

Con respecto a lo mencionado en esta investigación, se puede destacar que para la elaboración de un plástico biodegradable el ingrediente más importante es el almidón y su alto porcentaje, ya que este es el que aporta las mismas propiedades físico-químicas que tienen los plásticos sintéticos. El almidón se obtiene de algunas de las materias primas mencionadas anteriormente, por otro lado, es importante recalcar que también se encuentra otro componente y es la celulosa con un gran potencial para la elaboración de materiales biodegradables, pero con características diferentes a las de los bioplásticos. La tabla 13 representa las materias primas producidas en el Tolima y su respectivo porcentaje de almidón.

**Tabla 13**

*Porcentaje de almidón, materias primas producidas en el departamento del Tolima.*

<b>Materia prima</b>	<b>Almidón (%)</b>
Cascara de la papa	82
Cascara de mango	66.91 - 70
Cascara de plátano	65.89
Cascara de piña	70
Grano del arroz	89 - 90
Grano del maíz	71
Semilla de aguacate hass	67.69
Semilla de mango	60.44
Yuca	77

*Nota:* Elaboración propia

Una vez realizada la investigación, se puede enfatizar que los productos que ya están siendo fabricados, comercializados y que cuentan con una empresa existente son: Maíz (Ekuox, Compostpack, Mahíz), Yuca (Natpacking, Avani), Aguacate (Biofase). En cuanto al resto de materias primas de la tabla 13, se encuentran en la realización de estudios previos para la fabricación a gran escala según las propiedades que contengan.

El Tolima posee un alto potencial de materias primas para la producción de plásticos biodegradables, en donde se podrían exportar a empresas ya existentes o mirar si cabe la posibilidad de crear una empresa de este tipo, sin embargo es importante tener en cuenta muchos factores entre ellos esta si se tiene la capacidad para producir estos productos agrícolas a gran escala y no afectar a la población.

### 4.4 Ventajas y desventajas de producir plásticos biodegradables en el Tolima

En la Tabla 14 se relaciona las ventajas y desventajas de los plásticos biodegradables a partir de materia prima agrícola producida en el departamento del Tolima.



**Tabla 14**

*Ventajas y desventajas de los plásticos biodegradables.*

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Son biodegradables en diversos ambientes como en compostaje y en el suelo (Interecológicas Colombia, n.d.).</li><li>▪ 100% de origen vegetal y totalmente biodegradable en menor tiempo al plástico convencional (Interecológicas Colombia, n.d.).</li><li>▪ Reduce las emisiones de <math>CO_2</math>, generando en su producción un menor impacto ambiental (Interecológicas Colombia, n.d.).</li><li>▪ No producen residuos tóxicos (Interecológicas Colombia, n.d.).</li><li>▪ Se pueden utilizar para contacto con alimentos (Interecológicas Colombia, n.d.).</li><li>▪ Pueden ser impresos mediante el uso de técnicas de impresión y tintas normales (Interecológicas Colombia, n.d.).</li><li>▪ Algunos cuentan con las mismas características de resistencia, flexibilidad, claridad e impermeabilidad que las bolsas convencionales (Interecológicas Colombia, n.d.).</li><li>▪ Algunos de estos plásticos biodegradables son reutilizables (Interecológicas Colombia, n.d.).</li><li>▪ Mejora la imagen de su empresa posicionándola como una marca con responsabilidad y compromiso ecológico (Interecológicas Colombia, n.d.).</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Tienen un costo de capital más alto que plástico convencional (Ecoinventos, 2016).</li><li>▪ Poco apoyo que se tiene para la realización de nuevos proyectos como el plástico biodegradable (Ecoinventos, 2016)</li><li>▪ Por la producción a gran escala de plásticos biodegradables podría surgir otros problemas como la disponibilidad y alza en los precios de alimentos como Maíz, Yuca, Papa, ya que actualmente la mayoría se elaboran a través de estos elementos (Ecoinventos, 2016).</li><li>▪ Todavía existe desconocimiento por parte de muchos empresarios en el sector industrial (Ecoinventos, 2016).</li><li>▪ De acuerdo con una investigación alemana los bioplásticos, aunque sean biodegradables si no termina en los sistemas adecuados de compostaje su degradación no será óptima (Corbín José, n.d.).</li></ul>

*Nota:* Elaboración propia



## 5. Conclusiones y recomendaciones

### 5.1 Conclusiones

A partir de la evidencia recolectada en el presente trabajo se puede deducir que existen diferentes alternativas que están siendo fabricadas y comercializadas a gran escala, existen empresas nacionales como lo son, Natpacking donde sus productos son elaborados a partir de yuca, también existen empresas como Mahíz, Ekuox y Compostpack empresas con intención de obtener materias primas y productos 100% compostables, donde su fuente principal es el maíz y su almidón. Por otro lado, también se encontró empresas internacionales comprometidas con el medio ambiente que fabrican este tipo de materiales las cuales son: Avani con productos a base de almidón de yuca, Biofase producidos por la semilla de aguacate y compuestos elaborados con almidón de batata, maíz y soja.

Tras el análisis de la información recolectada se puede afirmar que para los plásticos biodegradables es fundamental cumplir con los estándares de una bolsa convencional, por esta razón se especificaron características como lo son la vida útil, tiempo de degradación, tipo de procesamiento, entre otros. En cuanto a la categorización, se pudo estimar que el precio de venta de los plásticos biodegradables es representativamente mayor en comparación con los plásticos tradicionales, esto hace que el desarrollo de este tipo de producto se vea limitada.

Se identificó que la fabricación de productos biodegradables son buenas alternativas para soporte de alimentos por su composición natural y capacidad de mantener el sabor y aroma propio de los alimentos, lo que los convierte en una alternativa para la sustitución de plásticos a base de petróleo, ya que evitan daños a la salud del consumidor y así mismo disminuyen la huella de carbono.

Las fuentes agrícolas potenciales producidas en el departamento del Tolima para la elaboración de plásticos biodegradables fueron maíz, yuca y aguacate, debido a las ventajas competitivas evidenciadas por empresas que ya están realizando y comercializando este tipo de material por su alto índice de almidón.

### 5.2 Recomendaciones

- Se recomienda realizar un estudio de factibilidad que involucre los costos de producción del bioplástico a una escala comercial.
- Identificar los nichos potenciales de mercado específicos para el uso de plásticos biodegradables.
- Incentivar a la comunidad académica para ampliar la información relacionada con este tema de plásticos biodegradables para futuras investigaciones.



- Tomar la iniciativa de pasar un proyecto al Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible para crear una base de datos referente a este tema.
- Educar a los consumidores para que cambien sus actitudes: promover la reutilización de los materiales y buscar materiales alternativos que sean más sostenibles como los mencionados en esta investigación.
- Motivar las producciones a grandes escalas de plásticos biodegradables, a base de fuentes naturales como el maíz, yuca, papa, mango, entre otros. Aclarando que su producción sea a partir de biomasa residual.

## Referencias bibliográficas

- Acción climática. (2020). *¿Cómo se fabrica una bolsa biodegradable de almidón?*  
<https://n9.cl/7zp3s>
- Acosta Dominguez, L. (2011). *Películas comestibles nanoestructuradas de almidón de camote (Ipomea Batata)*. 74.
- Álvarez-sánchez, J. (2001). Descomposición y ciclo de nutrientes en ecosistemas terrestres de México. *Acta Zoologica Mexicana, Es1*, 11–27. <https://doi.org/10.21829/azm.2001.8401843>
- Arriols, E. (2018). *Qué son los bioplásticos y cómo se producen*. Ecología Verde.  
<https://acortar.link/rFfuyV>
- Arroyo, P., Mazquiaran, L., Rodriguez, P., Valero, T., Ruiz, E., Ávila, J., & Valera, G. (2018). Frutas y hortalizas: nutrición y salud en la España del S. XXI. In *Fundación Española de la Nutrición (FEN)*. <https://n9.cl/v1cm0>
- Avellán, A., & Mendoza, A. (2020). Obtención de bioplástico a partir de almidón. *Revista Colón Ciencias, Tecnología y Negocios Universidad de Panamá, Panamá*, 7, nú.  
<http://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/215/215974004/html/>
- Ballesteros, L. (2014). *Los bioplásticos como alternativa verde y sostenible de los plásticos basados en el petróleo*. <https://n9.cl/y5fm1>
- Baltierra-Trejo, E., Silva-Espino, E., Márquez-Benavides, L., & Sánchez-Yáñez, J. M. (2016). Inducción de la degradación de lignina de paja de trigo en aromáticos por *Aspergillus* spp. y *Penicillium chrysogenum*. *Journal of the Selva Andina Research Society*, 7(1), 10–19.  
<https://doi.org/10.36610/j.jsars.2016.070100010>
- Benítez, T., Patricia, L., Tovar, T., Ortiz, V., Dunoyer, T., Mindiola, B., Benítez, T., & Malena, L. (2008). Aprovechamiento del ñame espino (*dioscorea rotundata*) en la producción de bioplásticos. *Prospectiva*, 6(1), 68–74.
- Bloomberg. (2020). *¿Podrá el mundo ganar la batalla contra los plásticos?*  
<https://acortar.link/f2JP4M>
- Calvimontes V., A., Cortez V., G., & Huaranga Joaquin, A. W. (2014). Elaboración de un snack expandido de haba (*Vicia faba* L.). *Anales Científicos*, 75(1), 218.  
<https://doi.org/10.21704/ac.v75i1.954>
- Cecilia, A. (2019). *Bioplasticos*.
- Chapuel, A., & Reyes, J. (2019). Obtención de una película biodegradable a partir de los almidones de semilla de aguacate (*persea americana* mill) y banano (*musa acuminata* AAA) para el recubrimiento de papaya. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 26(3), 1–4. <https://acortar.link/i5zy1v>
- Ciencia UANL. (2015). *Producen bioplástico a partir de semillas de aguacate*.  
<http://cienciauanl.uanl.mx/?p=4097>
- Congreso de Colombia. (2019). *Ley 1973 de 2019*.
- Congreso de la republica de Colombia. (2020). *Ley 2019-2020*.
- Corbín José. (n.d.). *Bioplástico: pros y contras*. Retrieved September 8, 2021, from  
<https://acortar.link/TB0LsT>

- Dilkes-Hoffman, L., Ashworth, P., Laycock, B., Pratt, S., & Lant, P. (2019). Public attitudes towards bioplastics – knowledge, perception and end-of-life management. *Resources, Conservation and Recycling*, 151. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104479>
- Dornscheidt, W. M., Schafer, J., Stempfle, B., & Werner, H. (2013). Bioplásticos: ¿una alternativa con futuro? *International Trade Fair No.1 for Plastics and Rubber Worldwide*, 1, 1–6. <https://acortar.link/Of40Aq>
- Ecoinventos. (2016). *Bioplásticos: La única alternativa para el futuro*. <https://n9.cl/t0v0k>
- Ecoisola aislamiento ecológico. (n.d.). *Comparativa de aislantes ecológicos: pros y contras*. Retrieved August 31, 2021, from <https://acortar.link/WoGsm4>
- Ecologismos. (2011). *Plástico elaborado con plátanos y piñas*. <https://acortar.link/QLZPz8>
- Economía circular. (2019). *47 días tardan en biodegradarse empaques de empresa colombiana que estará en Andina Pack – Envapack.com*. <https://acortar.link/B4qIjM>
- Edición Impresa de el Campesino. (2018, November 19). *Las habas: un poco de su cultivo, uso y recetas tradicionales*. El Campesino.Co. <https://acortar.link/77oogx>
- El Nuevo día. (2021, March 5). 10 productos claves para la economía del Tolima. *El Nuevo Día*. <https://n9.cl/9bdpj>
- Espe. (2015). *Extracción de almidón de arroz para la elaboración de polvo translucido compacto de uso cosmético*.
- Espín, G. (2007). *Plásticos y contaminación ambiental*.
- Estrada, C. C. (2010). *Celulosa*. 1(Mcc), 23–26.
- Farfán, M., Maza, J., Navarro, E., Saavedra, O., & Yamunaqué, K. (2018). *Diseño de un sistema productivo para la obtención de bolsas biodegradables a partir del almidón de yuca en la empresa polímeros del norte S.A.C.* 102. <https://acortar.link/KDNUh>
- Florio R, E. (2019). Extracción del almidon de la hoja de piña (Anona comosus ). *Ciencia & Desarrollo*, 2, 52–60. <https://doi.org/10.33326/26176033.1995.2.46>
- Galindo, S. (2018). *Descripción geografica, clima y suelos*. <https://www.camporigen.com/tolima/>
- Garcés-Ordóñez, O., Castillo-Olaya, V. A., Granados-Briceño, A. F., Blandón García, L. M., & Espinosa Díaz, L. F. (2019). Marine litter and microplastic pollution on mangrove soils of the Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombian Caribbean. *Marine Pollution Bulletin*, 145(2), 455–462. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.06.058>
- García, A. (2015). Obtención de un polímero biodegradable a partir de almidón de maíz. In *International Journal of Modern Physics B* (Vol. 25, Issue 26). <https://doi.org/10.1142/S0217979211101259>
- García, C., & López, M. (2013). *Factibilidad de instalar una fábrica de bolsas 100% biodegradables*. 1–100. <https://n9.cl/wtujg>
- Gómez Ayala, S. L., & Yory Sanabria, F. L. (2018). Aprovechamiento de recursos renovables en la obtención de nuevos materiales. *Ingenierías USBMed*, 9(1), 69–74. <https://doi.org/10.21500/20275846.3008>
- Góngora, J. (2014). La industria del plástico en México y el mundo. *Comercio Exterior*, 64(5), 6–9. <https://acortar.link/fVBwsU>
- González Vega, M. (2012). El ñame (Dioscorea spp.). Características, usos y valor medicinal. Aspectos de importancia en el desarrollo de su cultivo. *Cultivos Tropicales*, 33(4), 5–15.
- Guadrón de Delgado, E. (2013). *Diseño y desarrollo del proceso para la extracción de almidon a*

- partir de guineo majoncho verde (musa sp. variedad Cuadrado), para su uso en la industria de alimentos.* 195. <http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/4927>
- Hernández, I., Martínez, M., Contreras, R., & Rosario, P. (2017). Extracción de almidón por el método seco en plátano macho, cuadrado y castilla. *Revista de Simulación y Laboratorio*, 4(13), 1–7. <https://acortar.link/u2kxNL>
- Holguín, J. (2019). *Obtención de un bioplástico a partir de almidon de papa.*
- Huaranga, L., & Cahahuaman, M. (2020). *Evaluación de la resistencia tensil de un plástico biodegradable obtenido a partir de almidon de papa.* <https://n9.cl/na6ej>
- Humboldt sedd organization. (2020). *El plástico de cáñamo regresa del pasado para salvar nuestro futuro.* <https://acortar.link/N5TBot>
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2016). *Tolima, uno de los departamentos con mayor potencial agrícola en Colombia | Instituto Geográfico Agustín Codazzi.* <https://n9.cl/qltry>
- Interecológicas Colombia. (n.d.). *Ventajas y características.* Retrieved September 8, 2021, from <https://acortar.link/elvnmB>
- Liliani, Tjahjono, B., & Cao, D. (2020). Advancing bioplastic packaging products through co-innovation: A conceptual framework for supplier-customer collaboration. *Journal of Cleaner Production*, 252, 119861. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119861>
- Martínez, L. (2007). *Obtención y caracterización de almidones de malanga , arroz y maíz ceroso modificados por extrusión termoplástica para su uso como encapsulantes de aceite esencial de naranja.* 1–69. <http://cdigital.uv.mx/handle/123456789/46987>
- Mateus, D. (2018). *¿Cómo determinar la vida útil de un producto en poco tiempo?* <https://acortar.link/FhxK55>
- Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible. (2016). *Resolución 668 del 28 de abril de 2016.*
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2018). *Resolución 1407 de 2018.*
- Mocayo, C. (2017). *Lo que debe saber del impuesto a las bolsas plásticas.* Instituto Nacional Contadores Públicos Colombia. <https://acortar.link/aQ9pfn>
- NationalGeographic. (2019). *5 cifras alarmantes sobre la contaminación por plásticos en el mundo.* <https://acortar.link/ouvQKZ>
- Navarrete, I. (2015). *¿Qué aspectos positivos conlleva el manejo de bolsas biodegradables?* 1–27.
- Oficina de Estudios Económicos. (2021). *Información : perfiles económicos departamentales.*
- Ospina, B., & Ceballos, H. (2002). *La yuca en el tercer milenio sistemas modernos de producción, procesamiento, utilización y comercialización.* CIAT.
- Parker, L. (2020). *Ahogados en un mar de plástico.* <https://acortar.link/PXn0nX>
- Pizá, H., Rolando, S., Ramirez, C., Villanueva, S., & Zapata, A. (2017). Analisis experimental de la elaboración de bioplástico a partir de la cáscara de plátano para el diseño de una línea de producción alterna para las chifleras de Piura, Perú. *Pirhua*, 108.
- Planeta. (2017). *Fibra de Coco para crear utensilios desechables biodegradables.* <https://n9.cl/o56kk>
- Raja el N° 1 Europeo del embalaje. (2019). *Tipos de plásticos biodegradables en el mundo del embalaje.* Raja Blog. <https://n9.cl/ypid7>
- Rampton, A. (2016). *Almidón de La casaba y almidón de trigo: estudio comparativo para su uso en conservación de papel.* 1–7.

- Redacción Bibo. (2019). *Contaminación por plástico, una crisis con salida* | EL ESPECTADOR. <https://www.elespectador.com/noticias/medio-ambiente/contaminacion-por-plastico-una-crisis-con-salida/>
- RedacciónT21. (2012). *Crean plásticos biodegradables con la durabilidad y resistencia de los metales*. <https://acortar.link/zjM5om>
- Rincón, R. 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. <https://n9.cl/bh9i4m>
- Rivas, S. (2014). *Valorización de hemicelulosas de biomasa vegetal*. 363. <https://n9.cl/y6v6f>
- Romero, A., & Reina, A. (2015). *Evaluación del efecto del almidón de arracacha amarilla (Arracacia xanthorrhiza) como estabilizante en helados de crema*.
- Rubiano, J., Perez, M., Barrera, O., Orozco, W., Quesada, F., Diaz, M., & Gaviria, L. (2011). Manejo de los materiales plásticos reciclados y mejoramiento de sus propiedades. *Revista Facultad de Ingeniería*, 67, 43–51. <https://n9.cl/tssi>
- Ruiloba, I., Li, M., Quintero, R., & Correa, J. (2018). Elaboración de bioplástico a partir de almidón de semillas de mango. *Universidad Tecnológica de Panamá Resumen*, 4, 28–32. [file:///C:/Users/Daniela Mora/Documents/TITULACION/TESIS/1815-Texto del artículo-8742-2-10-20180710.pdf](file:///C:/Users/Daniela%20Mora/Documents/TITULACION/TESIS/1815-Texto%20del%20articulo-8742-2-10-20180710.pdf)
- Ruiz Avilés, G. (2005). *Pólimeros biodegradables a partir de almidón de yuca*. *Eafit*, 97. <https://n9.cl/k88rg0>
- Sabaté, J. (2016). *Qué son las microesferas de plástico y cómo empeoran nuestra vida*. <https://n9.cl/3jojt>
- Salguero, J. (2020). ¿Qué son los plásticos biodegradables, biobasados, degradables, oxodegradables, compostables? *Ecoplas*, 14. <https://n9.cl/xcbp3>
- Salinas, Y., Pérez, P., Castillo, J., & Álvarez, L. (2003). Relación de amilosa. amilopectina en el almidón de harina nixtamalizada de maíz y su efecto en la calidad de la tortilla. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 26(2), 115–121.
- Sánchez, N., & Sanz, C. (2020). Guía explicativa de etiquetas para la gestión de residuos. *Guía Explicativa de Etiquetas Para La Gestión de Residuos*. <https://doi.org/10.14198/guia-explicativa-etiquetas-gestion-residuos>
- Sanz Tejedor, A. (n.d.). *Tecnología de la celulosa. La industria papelera*. Retrieved August 31, 2021, from <https://n9.cl/0hok>
- Sensi Seeds. (2020). *Plásticos de cáñamo: ¿Qué son y cómo se hacen?* <https://n9.cl/2nfe4>
- Tecnología - emprendimiento. (2017). *Natpacking: bolsas biodegradables hechas en Colombia*. <https://n9.cl/nscho>
- Tecnología del plástico. (2016). *Empaques biodegradables fabricados con plátano*.
- Tecnología del plástico. (2019). *Emprendedoras mexicanas crean bioplástico con residuos de mango*. <https://n9.cl/wcg8c>
- Timon, M. (2020). *Ventajas y desventajas del uso del plástico* | Consumer. <https://n9.cl/jpp60>
- Traxco. (2009). *Bolsas biodegradables - Bioplásticos con almidón de patata*. <https://n9.cl/pjnxz>
- Vázquez, A., Espinosa, R. M., Beltrán, M., & Velasco, M. (2015). Bioplásticos y plásticos degradables. *Universidad Autonoma Metropolitana*, 11.

- Vera Bravo, A. F., & Chavarría Chavarría, M. A. (2020). Extracción y caracterización del almidón de papa (*solanum tuberosum*) variedad leona blanca. *Revista Ciencia y Tecnología El Higo*, 10(2), 26–34. <https://doi.org/10.5377/elhigo.v10i2.10550>
- Villalobos, D. (2014). *Investigadores desarrollaron nuevo bioplástico a partir de arroz*. <https://n9.cl/6746u>
- Villalta, A. (2018). *Evaluación de la biodegradabilidad de diferentes formulaciones de un bioplástico sintetizado, a partir del almidón obtenido de la cáscara de mango*. 1–84.
- Waring, R. H., Harris, R. M., & Mitchell, S. C. (2018). Plastic contamination of the food chain: A threat to human health? *Maturitas*, 115(June), 64–68. <https://doi.org/10.1016/j.maturitas.2018.06.010>
- Zúñiga, L. (2019). *10 cifras de la ONU para mostrar el daño que los plásticos le hacen al planeta*. <https://n9.cl/lrknc>