



**ANÁLISIS PRELIMINAR EN PROCESOS DE ALMIDÓN TERMOPLÁSTICO PARA LA  
GENERACIÓN DE BIOPLÁSTICO A PARTIR DE TRES SEMILLAS AGUACATE, MANGO  
Y TAMARINDO**

GERALDINE ANDREA ROJAS MEDINA

UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO  
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL  
BOGOTÁ D.C, COLOMBIA

2021

**ANÁLISIS PRELIMINAR EN PROCESOS DE ALMIDÓN TERMOPLÁSTICO PARA LA  
GENERACIÓN DE BIOPLÁSTICO A PARTIR DE TRES SEMILLAS AGUACATE, MANGO  
Y TAMARINDO**

GERALDINE ANDREA ROJAS MEDINA

TRABAJO DE GRADO PRESENTADO COMO REQUISITO PARA OPTAR AL TÍTULO DE  
INGENIERA AMBIENTAL

DIRECTOR: GIOVANNI SÁNCHEZ ROJAS

CODIRECTOR: JUAN VALDERRAMA

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: GESTIÓN AMBIENTAL

UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO

FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL

BOGOTÁ D.C, COLOMBIA

2021

## **Agradecimientos**

Primeramente, le doy gracias a Dios por guiarme a lo largo de la vida y permitirme finalizar esta investigación con éxito, agradezco el apoyo, la confianza, el esfuerzo y dedicación que a lo largo de la vida me han sabido brindar a mi mamá Amalia Medina y a mi papá Diomedes Rojas, le doy gracias a mi hermana Paula Rojas por acompañarme y apoyarme a lo largo de este ciclo universitario.

A mis asesores Giovanni Sánchez y Juan Valderrama gracias por su dedicación, paciencia y asesoría a lo largo de este proceso de aprendizaje.

A la Universidad Antonio Nariño gracias por todos los conocimientos que me han brindado a lo largo de mis estudios y a su vez agradezco la confianza que depositaron en mi al aceptarme en la institución.

## Tabla de contenido

Agradecimientos	3
Lista de tablas	6
Lista de ilustraciones	6
Resumen	7
abstract	7
1. Introducción	8
2. Objetivos	9
2.1 Objetivo general	9
2.2 Objetivos específicos	9
3. Planteamiento del problema	10
3.1 Descripción del problema	10
3.2 Problemática en Colombia	11
3.3 Formulación del problema	12
4. Justificación	13
5. Marco conceptual	14
5.1 plástico	14
5.2 Microplásticos	14
5.3 Bioplásticos	15
5.4 Almidón	16
5.5 Almidón termoplástico	17
5.6 Ecodiseño	17
5.7 Ciclo de vida	17
5.8 Economía circular	18
5.9 Disposición final de residuos	19
5.10 Semilla de aguacate	20
5.11 Semilla de mango	20
5.12 Semilla de tamarindo	20
5.13 Residuos agrícolas	21
6. Estado del arte	22
6.1 Semilla de aguacate	22
6.2 Semilla de mango	23
6.3 Semilla de tamarindo	24
7. Metodología	26
7.1 Tipo de investigación	26

7.2	Diseño de la metodología	26
7.2.1	Fase I: Recopilación de fuentes de información	26
7.2.2	Fase II: Selección de la información	27
7.2.3	Fase III: Análisis detallado de la información obtenida en la fase II	27
7.2.4	Fase IV: Consolidación de la información.	28
8.	Resultados	29
8.1	Caracterización de los bioplásticos biodegradables	29
8.2	Caracterización de la semilla de aguacate en Colombia	33
8.3	Caracterización de la semilla de mango en Colombia	36
8.4	Caracterización de la semilla de Tamarindo en Colombia	39
10.	Análisis de resultados	41
10.1	Semilla de aguacate	44
10.2	Semilla de mango	45
10.3	Semilla de tamarindo	47
10.4	Determinación de las mejores semillas para la fabricación de bioplástico en Colombia	48
10.5	Análisis del ciclo de vida	50
10.5.1	Ciclo de vida de un plástico convencional	50
10.5.2	Ciclo de vida un bioplástico	52
10.6	Análisis de impactos ambientales a partir de la rueda de estrategias de ecodiseño.	54
11.	Conclusiones	58
12.	Referencia	59

## Lista de tablas

<b>Ilustración 1:</b> Ciclo de vida	17
<b>Ilustración 2:</b> Esquema de metodología	27
<b>Ilustración 3:</b> Producción de bioplástico anual a nivel mundial	29
<b>Ilustración 4:</b> Mayores productores de aguacate en el mundo	32
<b>Ilustración 5:</b> Distribución del área de siembra por variedad mango	35
<b>Ilustración 6:</b> Tamarindo <i>Tamarindus indica</i> Haden L.	38
<b>Ilustración 7:</b> Economía circular a partir de las semillas de aguacate, mango y tamarindo	42
<b>Ilustración 8:</b> Comparación de las semillas de aguacate	43
<b>Ilustración 9:</b> Contenido de almidón de la semilla de mango	44
<b>Ilustración 10:</b> Composición del almidón obtenido de la semilla de tamarindo	46
<b>Ilustración 11:</b> Plásticos reciclados	50
<b>Ilustración 12:</b> Ciclo de vida de una bolsa plástica	51
<b>Ilustración 13:</b> Proceso de almidón termoplástico	52
<b>Ilustración 14:</b> Evaluación del ciclo de vida de un plástico convencional	55
<b>Ilustración 15:</b> Evaluación del ciclo de vida de una resina bioclástica	56

## Lista de ilustraciones

<b>Tabla 1:</b> Clasificación de los principales bioplásticos	14
<b>Tabla 2:</b> Métodos de disposición final de los bioplásticos	30
<b>Tabla 3:</b> Composición de las diferentes semillas de aguacate	33
<b>Tabla 4:</b> Composición de las diferentes semillas de mango	36
<b>Tabla 5:</b> Composición de la semilla de Tamarindo	39
<b>Tabla 6:</b> Semillas seleccionadas	47
<b>Tabla 7:</b> Evaluación del ciclo de vida	53

## Resumen

En el presente trabajo de grado se analizan diferentes materias primas de base biológica para la elaboración de bioplástico a partir de procesos de almidón termoplástico, para ello se hace uso de diferentes estudios técnicos y prácticos en donde se destaca el proceso de almidón termoplástico, por su facilidad y efectividad al momento de generar resinas bioplásticas altamente biodegradables.

Se realiza una caracterización a las semillas de aguacate, mango y tamarindo en donde se destaca su porcentaje de almidón sobre el resto de las propiedades, con el objetivo de determinar cuál de las diferentes variedades de las semillas anteriormente mencionadas son las mejores, para generar bioplástico a partir de procesos de almidón termoplástico.

**Palabras claves:** Semilla de aguacate, semilla de mango, semilla de tamarindo, bioplástico, almidón termoplástico, ciclo de vida, impacto ambiental, biodegradabilidad y plástico.

## abstract

In this paper we analyze different biologic-based raw materials for the production of bioplastic from starch processes, for it is base use of different technical and practical studies where the process of thermoplastic starch is highlighted, for its ease and effectiveness at the time of generating highly biodegradable bioplastic resins.

A cancerization of avocado, mango and tamarind seeds is carried out, highlighting their percentage of starch over the rest of the properties, in order to determine which of the different vaniities of the aforementioned seeds are the best, to generate bioplastic from thermoplastic starch processes.

**Keywords:** Avocado seed, mango seed, tamarind seed, bioplastic, Starch thermoplastic, life cycle, environmental impact, biodegradability and plastic

## 1. Introducción

Los bioplásticos de base biológica presentan una gran alternativa para reemplazar el plástico convencional, debido a su potencial de biodegradarse y de esta manera reducir la dependencia social de las reservas fósiles del mundo (Ummalyima et al., 2020), estos ecoproductos generan menos impactos ambientales y nuevas alternativas de emprendimiento que apoyen y aporten a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), tanto a impactado esta nueva revolución del plástico que en México la consideran uno de los pilares fundamentales para el desarrollo de su eco economía.

Los bioplásticos son productos ecodiseñados, esto quiere decir que tienen por objetivo de reducir los impactos ambientales a lo largo del ciclo de vida de dicho producto, para que un producto sea eco diseñado o eco sustentable se debe pensar y revisar la cada etapa del ciclo de vida de este producto. (M. Biron, 2020)

En este documento se da a conocer algunas de las semillas más cultivadas de aguacate, mango y tamarindo en Colombia, con el fin de conocer su composición y de esta manera poder determinar cuál de ellas es la mejor alternativa teóricamente para fabricar bioplástico en Colombia, de igual manera se estudia el proceso de generación de bioplásticos a través de un método conocido con el nombre de almidón termoplástico.



## **2. Objetivos**

### **2.1 Objetivo general**

- Analizar el potencial que poseen las semillas de aguacate, mango y tamarindo en los procesos de producción de bioplástico.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Caracterizar cada una de las semillas propuestas en el presente trabajo de grado, para conocer sus variedades y propiedades.
- Determinar cuál de las semillas propuestas en la investigación tiene mayor potencial en la elaboración de bioplástico en Colombia.

### 3. Planteamiento del problema

#### 3.1 Descripción del problema

Una de las mayores preocupaciones de hoy en día por los grupos ambientalistas, es el consumo excesivo de productos que normalmente después de ser usados terminan en los diferentes ecosistemas del planeta, generando un amplio problema de contaminación por el inadecuado manejo de residuos sólidos; uno de los ejemplos más claros es la contaminación en océanos y mares, donde se estima que anualmente 6.4 millones de toneladas de residuos entran al mar y alrededor del 80% son residuos procedentes de actividades terrestres. (Jaén et al., 2018)

Como consecuencia de la generación exponencial de residuos plásticos en las playas y mares se encontró alrededor de 5.25 trillones de plástico flotando en todos los mares y océanos, acentuados en los principales vórtices del océano (Pacífico del norte, Pacífico del sur, Atlántico del norte, Atlántico del sur y el del Índico), sin olvidar las otras islas de plástico por ejemplo las islas de plástico en el Mediterráneo y en el Caribe; pero sin duda alguna la isla de mayor dimensión es la del Pacífico del norte, la cual ocupa alrededor de 3.4 millones de  $Km^2$ . (Jaén et al., 2018)

A raíz de lo anteriormente explicado una de las mayores preocupaciones en el mundo es la contaminación de microplásticos generada a partir de la desintegración del plástico, debido a que estos pueden causar heridas, asfixias y malformaciones en los animales acuáticos y aéreos; los microplásticos generalmente recorren la cadena trófica marina, generando problemas de toxicidad en la biomasa marina. (Jaén et al., 2018)

Esta preocupación se ha incrementado en los últimos años, pues la producción de plástico va en aumento, para el año 2018 se estimaba que para el 2020 la producción de plástico llegaría a 500 millones de toneladas, donde gran parte de esta producción se destinaría a productos plásticos de un solo uso (Jaén et al., 2018); Esta proyección no es del todo errónea la producción de plástico se vio en aumento, sobre todo con la pandemia en curso, en donde se vio un aumento sustancial de envases

plásticos, el aumento en la demanda de bolsas plásticas de un solo uso y general plásticos de un solo uso. (Hari Bhakta et al., 2020)

Debido a la emergencia sanitaria que afronta el mundo desde 2019, el aumento de plástico ha tenido nuevamente su auge, ya que es uno de los elementos más usados para bioseguridad en domicilios, empaque de alimentos en supermercados, etc. El uso generalizado de bolsas plásticas a partir de la emergencia genera gran preocupación en la opinión pública, debido a que pone en retroceso prácticas como bolsas reutilizables y otras prácticas y leyes sanas para el medio ambiente, sin dejar de lado que la producción excesiva ha puesto en jaque los diferentes sistemas de gestión de residuos sólidos en el mundo. (Hari Bhakta et al., 2020)

En el último año los residuos generados a partir del plástico se han visto en aumento reflejándose en dos grandes categorías, la primera son los envases plásticos con un 44.8% del total de los residuos y la segunda son los residuos médicos con un 13.2% sobre el total de los residuos; lo cual no es raro ya que la Organización Mundial de la Salud (OMS) llamó la atención a los gobiernos sobre sus industrias, para aumentar la producción de plástico en 40% y así poder satisfacer la creciente demanda de la población mundial. (Hari Bhakta et al., 2020)

### **3.2 Problemática en Colombia**

No es secreto que el ecosistema marino es uno de los más afectados por el consumo de productos innecesarios provenientes del plástico, los cuales llegan en su mayoría por medio de los ríos y costas fomentando la disminución de biomasa en los océanos, la cual no pasa por desapercibida en Colombia; de igual manera no se debe olvidar que el ecosistema de manglares (Conexión entre la vida marítima y la vida terrestre) es otros de los ecosistemas más afectados por los residuos plásticos y sus micropartículas al descomponerse. (Universidad de los Andes et al., 2019)

La contaminación en estos ecosistemas genera afectaciones en la reproducción de especies como: Reptiles, peces, crustáceos, etc. Además de proporcionar cambios en las características de reproducción

de especies, crea importantes cambios en su hábitat afectando de manera negativa la calidad de vida en las especies. (Universidad de los Andes et al., 2019)

Según las Naciones Unidas señalan que los plásticos generalmente quedan atrapados en las raíces de los árboles de los mangles cambiando la función principal de estos dentro de los manglares; muchos de los problemas de contaminación en Colombia y en el mundo son generados por la falta de conciencia sobre la importancia de los diferentes ecosistemas presentes en este. (Universidad de los Andes et al., 2019)

Los microplásticos hoy por hoy están presentes en todos los grupos alimenticios y uno de los más afectados es el grupo de las proteínas, para ser más específicos el pescado o es uno de los alimentos que más microplásticos contiene en su interior, pues el consumo de microplásticos por parte de los seres humanos proviene generalmente de la comida de mar y en Colombia esta realidad no es del todo diferente, pues “Según la Autoridad Nacional de Agricultura y Pesca (AUNAP) el consumo de pescado por persona en Colombia supera los 8 kilos al año”. (Universidad de los Andes et al., 2019, Sección 3.1. Los microplásticos)

### **3.3 Formulación del problema**

Esta monografía pretende dar solución a la pregunta problema ¿Cuál de las tres semillas propuestas en este trabajo de investigación es la mejor teóricamente para generar bioplástico a partir de procesos de almidón termoplástico en Colombia?, basado en los nuevos estudios y productos en el mercado que apuntan a una nueva revolución de plástico, pero esta vez como un aliado del medio ambiente.

## 4. Justificación

Debido a los grandes impactos ambientales que se han presentado alrededor del mundo, por la sobrepoblación, el consumismo social y la generación de desmedida plásticos, los países y las industrias de estos se han puesto de acuerdo para generar una nueva forma de satisfacer las necesidades de los consumidores y cumplir con los requisitos planteados para cada producto, sin afectar los recursos del futuro.

A lo anterior se le denominó desarrollo sostenible, el cual es un reto que busca cumplir lo siguiente “satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades” (Iyer, 2020), esto se aplica al ámbito social, económico y ambiental; para ello es necesario la creación de productos que cumplan las necesidades sociales, que sea económicamente favorable para las empresas o microempresas y disminuya su impacto ambiental.

La presente monografía tiene como fin generar un aporte teórico a la generación de bioplástico con base en las semillas de aguacate, mango y tamarindo en Colombia y el extranjero, debido a que estas nuevas tecnologías están impactando de manera positiva en los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) en el mundo, planteados por la Organización de las Naciones Unidas (ONU) en 2015, los objetivos que se ven beneficiados por este tipo de proyectos son: 3. Salud y bienestar, 6. Agua y saneamiento, 7. Trabajo decente y crecimiento económico, 9. Industria, innovación e infraestructura, 12. Producción y consumo responsable 14. Vida submarina y 15. Vida de ecosistemas terrestres. (Organización Naciones Unidas, 2015)

Lo anterior con el fin de generar nuevas ideas de investigación experimental, con el propósito de que nuevos investigadores desarrollen alternativas al plástico en Colombia, con la intención de que ayuden a dar solución a la problemática de plástico y microplásticos que afronta el mundo hoy por hoy, pero sobre todo con la idea de que estas soluciones y a portes se han enfocados al desarrollo sostenible y la innovación en el mercado.

## **5. Marco conceptual**

### **5.1 plástico**

El plástico es un material compuesto a partir de: petróleo, gas natural y carbón, cuyos recursos toman años en formarse y no son renovables, este material tiene una propiedad fundamental que no se oxida ni se descompone con el paso del tiempo, sino, que en cambio genera un proceso de fotodegradación el cual consiste en desintegrar el plástico en partículas microscópicas través del uso de energía solar, más específicamente a partir de los rayos UV. (Godínez Cardoso et al., 2016)

### **5.2 Microplásticos**

Después del proceso de fotodegradación a partir de los rayos UV se generan unas micropartículas de plástico más conocidas como microplásticos o nano plásticos, estas partículas generalmente poseen un tamaño no menor a 5 mm, los cuales provienen del polietileno, poliestireno, nylon, polipropileno y cloruro de polivinilo; estos microplásticos se dividen en dos, microplásticos primarios y secundarios. Los microplásticos primarios son aquellos que poseen un tamaño menor a 5 mm y provienen de productos de cuidado personal, mientras que los microplásticos secundarios son aquellos que se generan por la fotodegradación. (Sarria Villa & Gallo Corredor, 2016)

Estos microplásticos se dividen en dos tipos; el primer tipo son microplásticos primarios, los cuales son plásticos manufacturados no menores a 5 mm, estos microplásticos provienen de productos cosméticos, productos de cuidado personal, envases plásticos, etc.; mientras que los microplásticos secundarios se forman por la degradación física (Calor, luz UV o acción mecánica), degradación microbiana de algunos productos plásticos y finalmente la degradación química de algunos plásticos a través de la oxidación, estos últimos vienen de productos como: envases, bolsas y botellas, etc. (Sarria Villa & Gallo Corredor, 2016)

### 5.3 Bioplásticos

Como opuesto a los dos anteriores encontramos los bioplásticos, los cuales prometen ser la nueva revolución del siglo XXI, pues estos son totalmente diferentes a los plásticos y su impacto ambiental sobre los diferentes ecosistemas resulta ser mínimo, estos generalmente están producidos a partir de una base biológica y son 100% biodegradables, ya estén fabricados a partir de una fuente renovable o no renovable; en la tabla 1 se puede ver la clasificación principal de los bioplásticos. (Abraham et al., 2021)

**Tabla 1:** *Clasificación de los principales bioplásticos*

Bioplástico	Características	Ejemplos
Bioplásticos a base biológica	Son bioplásticos actualmente altamente comerciales y modernos, que hoy por hoy reemplazan de manera adecuada a los plásticos convencionales, estos son fabricados a partir de fuentes biológicas generalmente son residuos provenientes del consumo humano y generación agrícola.	- Ácidos polilácticos (PLA) - Polihidroxialcanoatos (PHA) - Acetatos de celulosa (CA) - Almidones termoplásticos (TPS) - succinato de polibutileno (PBS)
Biobisados y no biodegradables	Estos se consideran aceptables a pesar de no ser biodegradables, ya que reducen las emisiones de CO <sub>2</sub>	1. Termoplásticos de base biológica como polietileno (PE), tereftalato de polietileno (PET) y polipropileno (PP)

		2. polímeros tales como poli (tereftalato de trimetileno) (PTT), nailon 11 y poliamidas (PA)
		3. termoendurecibles tales como poliuretanos (a base de soja), poliésteres insaturados y epoxis
Basado en recursos fósiles y biodegradables	Algunos de los plásticos generados a partir de combustibles fósiles llegan a ser biodegradables a través de procesos anaerobios y aerobios, para finalmente convertirse en compuestos simples	- Tereftalato de adipato de polibutileno (PBAT) - Policaprolactona (PCL)

---

Fuente: Construida a partir de (Abraham et al., 2021)

**Nota:** Esta tabla tiene como fin dar a conocer algunos de los ejemplos más comerciales y comunes de bioplástico en el mercado y sobre todo dar a entender que por el hecho de llevar bioplástico de como nombre no significa que pueda ser biodegradables, sino, que por el contrario no es biodegradable, pero su impacto en el medio ambiente es inferior al que puede causar un plástico común.

## 5.4 Almidón

Una de las principales fuentes del biológicas para la fabricación de bioplástico es el almidón que provienen de los residuos agrícolas (Cáscaras, Semillas, pulpas adheridas, etc.); el almidón es un



carbohidrato polimérico que consta de un gran número de unidades de glucosa unidas por enlaces glicosídicos, los cuales son materias renovables en la naturaleza, que biodegradarse regresan a la naturaleza en forma de agua y CO<sub>2</sub> reduciendo la contaminación ambiental a cero. (Wang et al., 2021)

## **5.5 Almidón termoplástico**

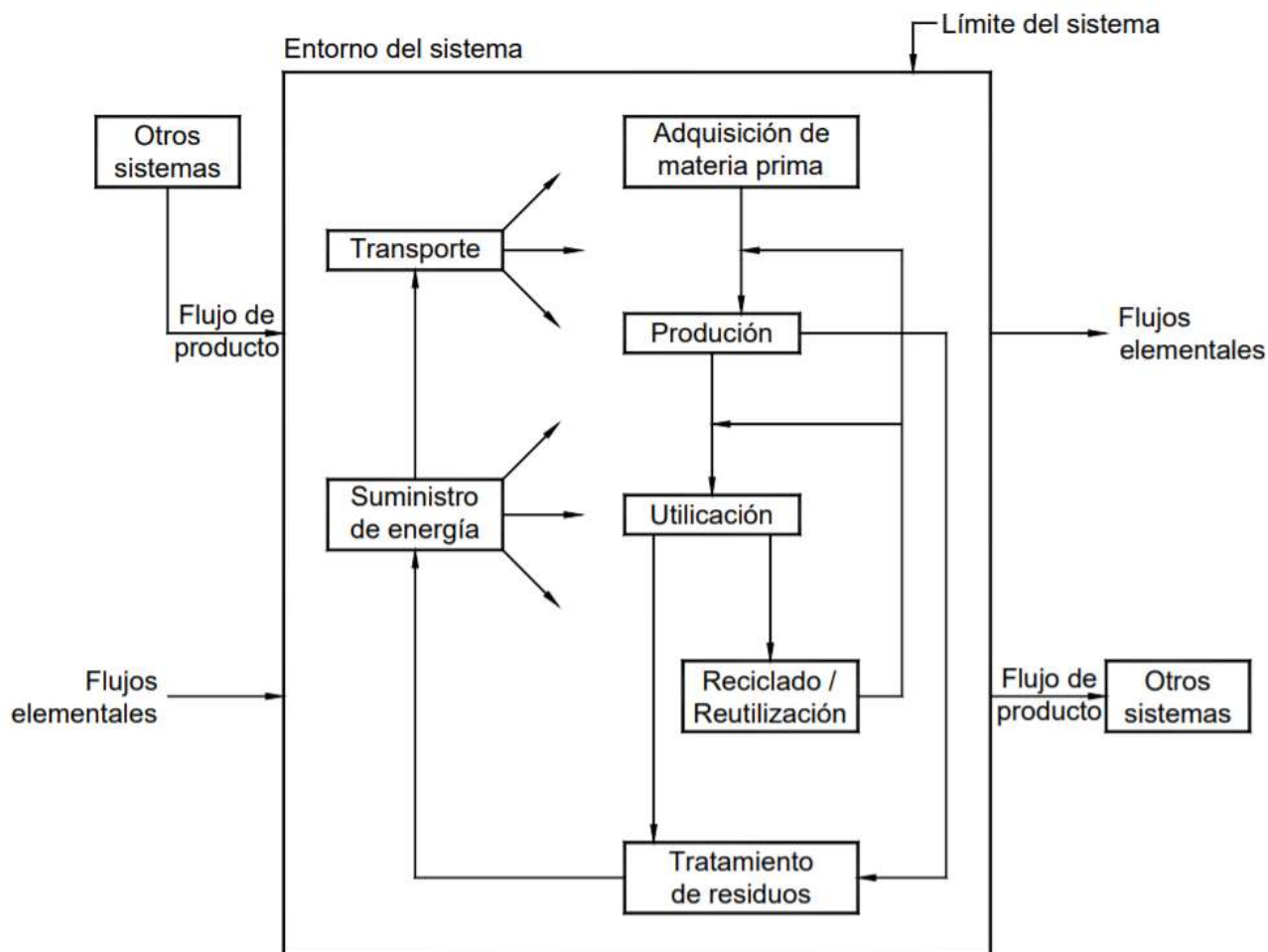
Generalmente los bioplásticos derivados de una base biológica resultan de procesos de almidón termoplástico como se observa en la tabla número 1, la cual es una técnica que consiste en hacer uso de diferentes plastificantes polares (Glicerina, polirol, formamida y sus derivados) que se encuentran en el mercado con el objetivo de reemplazar los enlaces de hidrógeno presentes en las moléculas del almidón por plastificante. (Wang et al., 2021)

## **5.6 Ecodiseño**

Con la generación de bioplástico se crea una nueva oportunidad de producción e innovación para el sector económico, esta nueva línea de producción adquirió el nombre de ecodiseño; el ecodiseño o diseño ecológico requiere de diseñadores que tengan en cuenta los impactos ambientales, así como las diferentes fuentes de donde proviene la materia prima, lo anterior con el fin de minimizar los impactos ambientales, cumplir con los diferentes requisitos del producto y satisfacer las diferentes necesidades del consumidor. (Xiang et al., 2020)

## **5.7 Ciclo de vida**

Dentro del ecodiseño se debe entrar a evaluar el ciclo de vida de cada producto y servicio que se ofrece al consumidor día a día, este se considera un sistema de etapas consecutivas e interrelacionadas, que evalúa el origen del producto o el servicio (Materias primas) hasta su disposición final (ICONTEC, 2007). En la ilustración número 1 se da a conocer las diferentes etapas del ciclo de vida de un bien o servicio y como este aporta a la economía circular si se incorpora nuevamente al sistema.

*Ilustración 1: Ciclo de vida*

Fuente: (ICONTEC, 2007)

## 5.8 Economía circular

Esta nueva innovación en las industrias y el sector económico aporta a una nueva iniciativa a la economía circular, la cual se refiere a una economía industrial que restaura sus diseños, optimiza los sistemas de producción y reduce al mínimo sus impactos ambientales, con el objetivo de aprovechar al máximo los recursos que se utilizan para la fabricación un producto, repensar el diseño de un producto y reducir la generación de residuos, mediante a un circuito cíclico, en donde todo lo que sale finalmente se incorpora en el sistema. (M. Roy, 2021)

## 5.9 Disposición final de residuos

Una de las cosas más importantes para cumplir con la economía circular es la disposición final de los residuos o productos, para cumplir con este parámetro y entrar en la categoría de nuevas alternativas la economía circular, los bioplásticos tienen diferentes métodos de disposición final para así incorporar estos elementos al sistema, cabe aclarar que esto no es válido en todos los casos, en donde se desarrollan resinas bioplásticas, estos métodos se explicarán a continuación.

**5.9.1 Reciclaje:** Hoy en día esta técnica busca disminuir el plástico de un solo uso, con el objetivo de aportar al desarrollo sostenible y minimizar los impactos ambientales, este debe ser muy estricto y cuidadoso, de igual manera debe ser aplicado a todos los productos de manera objetiva. (Karmakar, 2020)

**5.9.2 Incineración:** Esta técnica no es una de las mejores para realizar eliminación de residuos, ya que de este pueden surgir emisiones de contaminantes altamente tóxicos en la atmósfera, este método también aumenta el calentamiento global y debido a los contaminantes que emite el incinerador generalmente tiende a acortar su tiempo de vida útil. (S. M. Al-Salem, 2019)

**5.9.3 Compostaje:** Es un proceso que involucra la descomposición biológica de materia orgánica que se realiza de manera aeróbica, en donde se evalúa el contenido de humedad, la temperatura, la relación carbono nitrógeno y el oxígeno, donde tenemos como ventajas la aeración natural y los bajos costos, pero este puede generar fuertes olores, necesita ser girado con constancia y en ocasiones toma mucho tiempo en descomponer los residuos, de este proceso se puede obtener compost para el suelo y CO<sub>2</sub>. (El Haggar, 2005)

**5.9.4 Digestión anaeróbica:** Este es un proceso que involucra la degradación de materia orgánica y una de las tecnologías más usadas hoy en día para la descomposición de residuos orgánicos, con el objetivo de producir biogás (Metano y CO<sub>2</sub>), que luego será utilizado para producir energía o calor limpio. (Xu et al., 2018)

**5.9.5 *Relleño sanitario:*** Los rellenos sanitarios son una de las opciones más económicas e ineficientes para la gestión de residuos, esto se debe a la gran cantidad de lixiviados y gases que estos producen diariamente, estos también conocidos como vertederos son los principales impactos son la contaminación de aguas subterráneas y superficiales del sector en donde se encuentren construidos. (Preethi et al., 2020)

### **5.10 Semilla de aguacate**

Los eco productos generalmente están elaborados de diferentes materias primas, estas materias primas pueden provenir de una base biológica, una de estas materias primas y de las más usadas en la industria hoy en día es la semilla de aguacate, la cual es muy variable en tamaño, forma y corteza, tanto la fruta como la semilla suelen ser pobres en azúcares, mientras que poseen una alta riqueza de proteínas, sales minerales, ácidos orgánicos y vitaminas liposolubles. (Chil-Nunez et al., 2019)

### **5.11 Semilla de mango**

Otra de las materias primas que se está estudiando hoy en día para la elaboración de bioplástico es la semilla de mango, la cual contiene un 60.44% de almidón, el cual es altamente efectivo para la fabricación de películas biodegradables; el almidón que se puede extraer a esta semilla es amilosa, la cual puede retener la humedad y la gelatinización, dando como resultado un almidón de buena calidad para la formación de bioplástico. (Ruiloba et al., 2018)

### **5.12 Semilla de tamarindo**

Por otro lado, encontramos la semilla de tamarindo con un alto potencial de generación de bioplástico, debido a que esta es una buena fuente de almidón, proteína y aceites, una de las mejores propiedades de esta semilla es su dureza e impermeabilidad; a diferencia de los dos anteriores frutos y sus subresiduos el tamarindo es una de los más usados ya sea para generar un nuevo cultivo o en la industria del hogar. (Pérez Hernández, 2016)

### **5.13 Residuos agrícolas**

Finalmente, las semillas anteriormente mencionadas se consideran residuos agrícolas, los cuales son la parte no comestible de un fruto, verdura o planta; estos residuos comprenden el tallo, las hojas, la cáscara, la pulpa adherida, etc. Estos residuos pueden ser altamente aprovechados en la industria hoy en día desde la generación de productos hasta la producción de energía, sin embargo, hoy en día no le damos la importancia que estos se merecen, esto debido a que la inversión inicial para generar un nuevo emprendimiento a partir del tratamiento de estos residuos es realmente elevada. (Ş. Y. Balaman, 2019)

## 6. Estado del arte

### 6.1 Semilla de aguacate

En el año 2019 se presentó un estudio por parte de la Pontificia Universidad Javeriana en Bogotá D.C en donde se presentaba el crecimiento sostenible de la bioeconomía de América latina; este estudio reveló que en México para el año 2013 se creó una empresa llamada Biofase, la cual produce una serie de resinas biodegradables a partir de cualquier método de moldeo de plásticos, lo anterior se realiza a través de un polímero que se encuentra en las semillas de aguacate. (E. H. De Jaramillo et al., 2019)

Esta empresa cuenta con la patente de su tecnología y se dedica a la fabricación de cubiertos (Cucharas, cuchillos, tenedores, pitillos, etc.) en donde aseguran que alrededor del 70% de los polímeros de cada producto son biodegradables hasta en rellenos sanitarios; esta tecnología se conoce por ser uno de los cinco mejores bioplásticos que se fabrican en el mundo hoy por hoy. (E. H. De Jaramillo et al., 2019)

En el año 2020 la Universidad Santo Tomás publicó una tesis de iniciativa empresarial, en donde la idea principal era combinar los biopolímeros de la semilla de aguacate mezclados con neumáticos utilizando la mano de obra Wayuu, con el fin de crear bolsos para mujer y apostarle al desarrollo sostenible; para ello los estudiantes compraron la resina directamente en la empresa de Biofase anteriormente mencionada. (Ramos Niño & Gómez Urrea, 2020)

Para el año 2020 la institución SENA publicó en su revista Renovat un artículo sobre la utilización de residuos provenientes de la transformación de frutas para la elaboración de bioempaque, en donde se evalúan varios residuos agrícolas después de consumir el producto de origen colombiano; en este estudio se evaluó la extracción de almidón semilla de aguacate Lorena, la cual es un residuo que comúnmente proviene de procesos culinarios, farmacéuticos, estéticos, etc. (Ubaque Beltrán et al., 2020)

El anterior estudio permitió comprobar que dicho residuo combinado con aditivos, puede ser transformado en un bioempaque en el cual se incorpora agentes antimicrobianos, que permite alargar la

vida útil de un producto, un ejemplo claro de esto es la adición de etanólico de propóleo, el cual permite conservar las frutas y en especial la mora si esta no se encuentra refrigerada. (Ubaque Beltrán et al., 2020)

## 6.2 Semilla de mango

Un artículo sobre reforzamiento de películas biodegradables de almidón de semilla de mango publicado por LACCEI (*I International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology*) en 2020; Demostró que la incorporación de extractos naturales a las películas de biopolímeros mejora la degradación del bioplástico debido a sus diferentes compuestos y sus macromoléculas, las cuales aportan un contenido de almidón importante para la generación de bioplástico. (Nazario-Naveda et al., 2020)

Para la comprobación los autores del artículo revisaron las propiedades físicas de las películas de bioplástico, la morfología, propiedades mecánicas, el paso de la luz y su biodegradación si esta se entierra en el suelo; finalmente se comprobó que la incorporación de este extracto natural en las películas de bioplástico genera una resistencia a la tracción importante al igual que una elasticidad del producto final y al disminuir la humedad del producto la biodegradabilidad de este es más rápida de lo normal. (Nazario-Naveda et al., 2020)

Un artículo publicado por el SENA en el año 2018 en la ciudad de Bogotá D.C, en donde se lleva a cabo una investigación en donde se experimentaba cada una de las partes del mango, con el objetivo de deshidratar cada una de estas y hacer la adecuada extracción del almidón y fabricar el bioplástico agregando diferentes aditivos.

El tipo de mango que se utilizó en este experimento provienen del eje cafetero colombiano; el grupo de estudiantes de la institución separó cada parte del mango y la puso en un horno para deshidratar durante un periodo de tiempo determinado, luego se le determinó el porcentaje de humedad a cada una de ellas, posteriormente se pulverizó la cáscara y la semilla del fruto para realizar la extracción

del almidón y finalmente se mezcló con ácido acético (Vinagre común) y glicerina. (M. Jaramillo et al., 2018)

Con este estudio se comprobó que, a mayor porcentaje de humedad, mayor facilidad de moldeado para el producto final, también se comprobó que la semilla de mango es la mejor para generar biopolímeros biodegradables ya que las películas de la semilla de mango son más resistentes que las películas de cáscara, las cuales son muy difíciles de obtener y finalmente se concluyó que, a menor tamaño de partícula, mejores serán los resultados de las películas de bioplástico. (M. Jaramillo et al., 2018)

Un estudio de elaboración de bioplástico a partir del almidón de la semilla de mango realizado por la Universidad Tecnológica de Panamá, el cual tenía como objetivo comprobar los resultados de Experimentos que se han realizado en África y Asia obteniendo los mejores resultados en películas de bioplásticos. (Ruiloba et al., 2018)

En esta investigación se determinó la humedad, el contenido de Amilosa y Amilopectina y el contenido proteico del almidón de la semilla de mango; en donde se descubrió que las formulaciones sin plastificantes no son desprendibles de la lámina o moldes lo que generalmente suele suceder con los almidón de base biológica, por otro lado las fórmulas de almidón puestas en moldes con plastificantes se desprenden fácilmente, estas últimas se aislaron y se pusieron en proceso de biodegradación donde al pasar el tiempo se observó un crecimiento microbiano importante sobre el bioplástico fabricado lo cual da prueba de su biodegradación, demostrando así la efectividad de producción de bioplástico a partir del almidón de la semilla de mango y su biodegradación. (Ruiloba et al., 2018)

### **6.3 Semilla de tamarindo**

Un artículo publicado por ScienceDirect en el año 2020 informó que hoy en día se está usando la semilla de tamarindo para la fabricación de bioplásticos 100% biodegradables, a partir de la mezcla de Cáscaras Tiernas de Coco, almidón aislado semillas de tamarindo y glicerol como plastificante, la



preparación de películas bioplásticas se realizó a partir del método fundición en solución. (De et al., 2020)

El tamarindo es una de las frutas más usadas en la India, pero en este país se usa exclusivamente la pulpa generando un residuo muy valioso para el área del ecodiseño y mínimamente se desperdicia un 30% del total de la fruta; la semilla de tamarindo posee un polímero especial ya que para ser plastificado no necesita del petróleo, sino, que este utiliza un subproducto haciendo que su diseño sea menos costos disminuyendo al mínimo el impacto ambiental. (De et al., 2020)

Un estudio publicado en ScienceDirect en el año 2018 examinó los diferentes métodos de fabricación de películas de bioplástico termoplastificado, a partir de polisacáridos de residuos orgánicos agrícolas, en donde estuvo presente el almidón que se puede extraer de la semilla de tamarindo que combinado con diferentes materiales y sus compuestos género un bioplástico de alto impacto. (Chandra Mohan et al., 2018)

Esta investigación reveló que la semilla de tamarindo cuenta con una cantidad considerable de almidón, al cual se le estudió la viscosidad durante la gelatinización en función de la temperatura y el tiempo, el contenido de amilosa y finalmente se estudió su generación de biotermoplástico con el aditivo de polisacárido de mucílago proveniente del bagazo residual de arroz dando esta última como resultado una viscosidad menor a la encontrada con el almidón de la semilla de tamarindo sin aditivos, sin embargo, las propiedades físico mecánicas de las técnicas anteriormente mencionadas dieron resultados similares. (Chandra Mohan et al., 2018)

Un artículo de las nuevas tendencias de envases y empaquetados plásticos publicado por Conbrepro en el año 2018 revelo que en Monterrey un grupo de estudiantes desarrollo envases plásticos con la semilla de tamarindo, debido a sus propiedades antimicrobianos que evitan la contaminación de productos destinados a la salud, lo cual en la industria resulta ser una ventaja muy grande en el campo de los bioplásticos y su auge. (Jiménez et al., 2018)

## 7. Metodología

### 7.1 Tipo de investigación

Para dar solución a la pregunta problema planteada en el presente documento es necesario definir qué tipo de investigación que se llevará a cabo, esta investigación contiene un análisis de información documental dispuesta en diferentes plataformas de investigación, con el fin de establecer relaciones, procedimientos, conocimientos, opiniones y el estado de investigación que hay hoy en día con respecto al tema de investigación de la presente monografía. (Gómez Luna et al., 2017)

Con base en lo anterior podemos decir que el tipo de investigación de esta monografía es teórica, analítica y descriptiva, con el objetivo de dar a conocer las mejores características que se necesita para la generación de bioplástico, a partir de una base biológica, en Colombia. Recalcando que este documento se construye únicamente desde la parte teórica.

### 7.2 Diseño de la metodología

Para el presente trabajo de grado se plantean cuatro fases diferentes, pero con igual importancia todas, las cuales son: Recopilación de fuentes de información, selección de la información, análisis detallado de la información obtenida en la fase II y Consolidación de la información.

#### *7.2.1 Fase I: Recopilación de fuentes de información*

Recopilar fuentes de información: En estas fases se tendrán en cuenta investigaciones publicadas en la Universidad Antonio Nariño, la Universidad Santo Tomás, la Universidad La Pontificia Javeriana, SENA, etc. Las anteriores son instituciones educativas ubicadas en Colombia que se a través de diferentes investigadores, estudiantes y docentes se han visto inmersas en temas de ecodiseño y generación de bioplásticos; adicional a esto se revisaran investigaciones realizadas por universidades extranjeras tales como: universidades de Panamá, España, Perú, Brasil y México; finalmente se tomarán artículos publicados en revistas y bases de datos como: Scopus, ScienceDirect, Conferencias realizadas

por ingenieros alrededor del mundo, etc. Todas las opciones anteriormente mencionadas se encuentran disponibles al público de manera gratuita.

### ***7.2.2 Fase II: Selección de la información***

Selección de la información: Después de realizar la fase I se extraerá la información de mayor interés a través de un listado de criterios que se muestran a continuación:

1. Información vigente y actualizada, en la cual se consideran artículos, tesis e informes de los últimos 5 años.
2. Información que hables directamente sobre la problemática del plástico que se ha evidenciado hoy en día.
3. Experimentos que hablen sobre la generación de bioplástico a partir de procesos de almidón termoplástico.
4. Información de fuentes confiables como: Base de datos, revistas científicas, tesis publicadas por universidades de prestigio dentro y fuera del país, etc.
5. Informes económicos y legislación actualizada en Colombia.

Los anteriores criterios garantizan que el lector se encuentre con la información más actualizada posible, además de garantizar un estudio teórico seguro sobre la generación de bioplásticos a partir de procesos de almidón termoplástico en Colombia y el extranjero.

### ***7.2.3 Fase III: Análisis detallado de la información obtenida en la fase II***

Análisis detallado de la información obtenida en la fase II: seguido de seleccionar los documentos de mayor interés se realiza el análisis de la información, que se dividirá en dos: primero información general y segundo información detallada.

1. **Análisis general:** Este tiene como objetivo dar a conocer la situación actual del país con respecto a la producción de semillas y bioplásticos generados a partir de procesos de almidón termoplástico en Colombia y el mundo

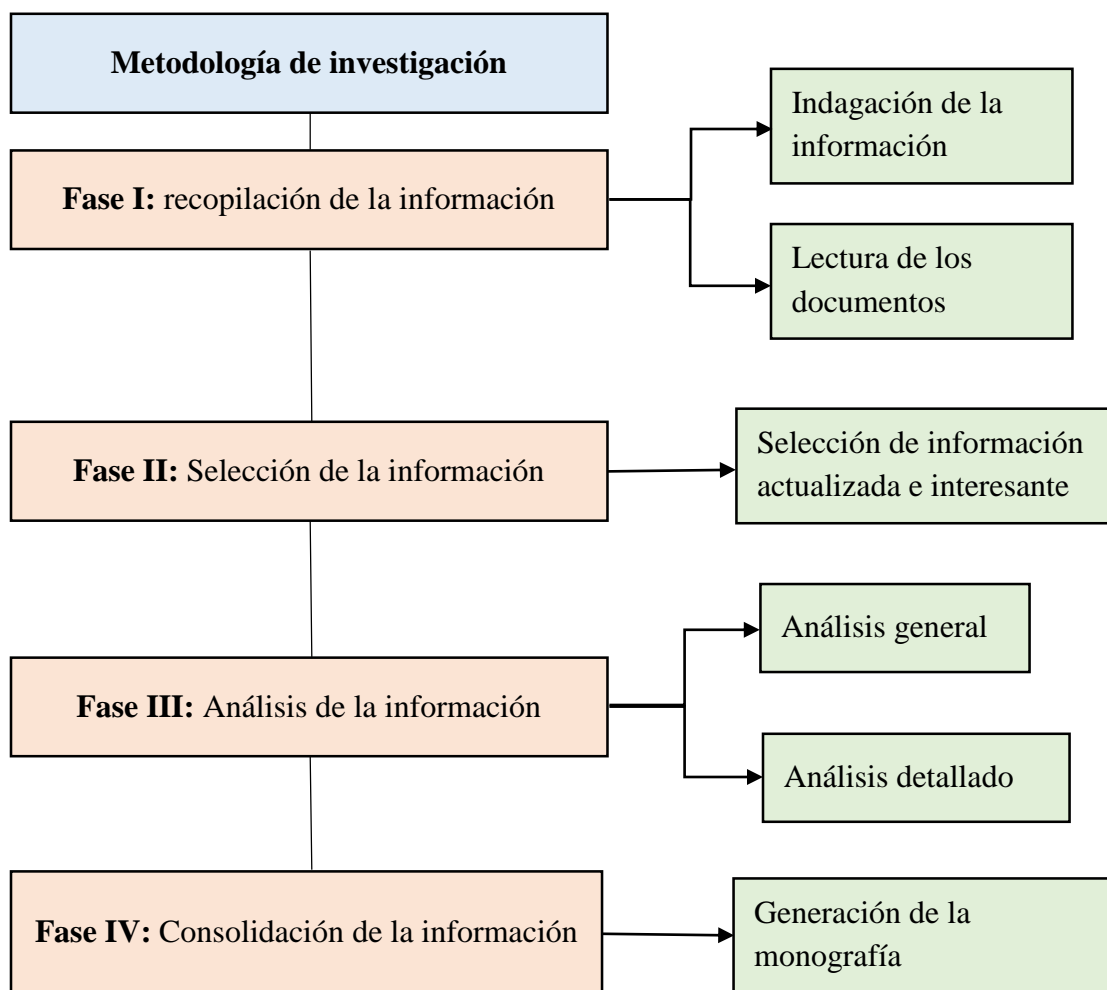
- 2. Análisis detallado:** Este tiene como objetivo dar a conocer las propiedades físico biológicas de cada semilla y sus variedades, además de dar a conocer que variedad de semilla es a más estudiada hoy por hoy y cuál es la que mejor resultado presentaría, al momento de generar una resina bio plástica proveniente de un proceso de almidón termoplástico.

Lo anterior avala el cumplimiento de los objetivos planteados en el presente trabajo de grado.

#### **7.2.4 Fase IV: Consolidación de la información.**

Consolidar la información obtenida: A través de un documento de manera clara y concisa para facilidad del lector.

*Ilustración 2: Esquema de metodología*



## 8. Resultados

### 8.1 Caracterización de los bioplásticos biodegradables

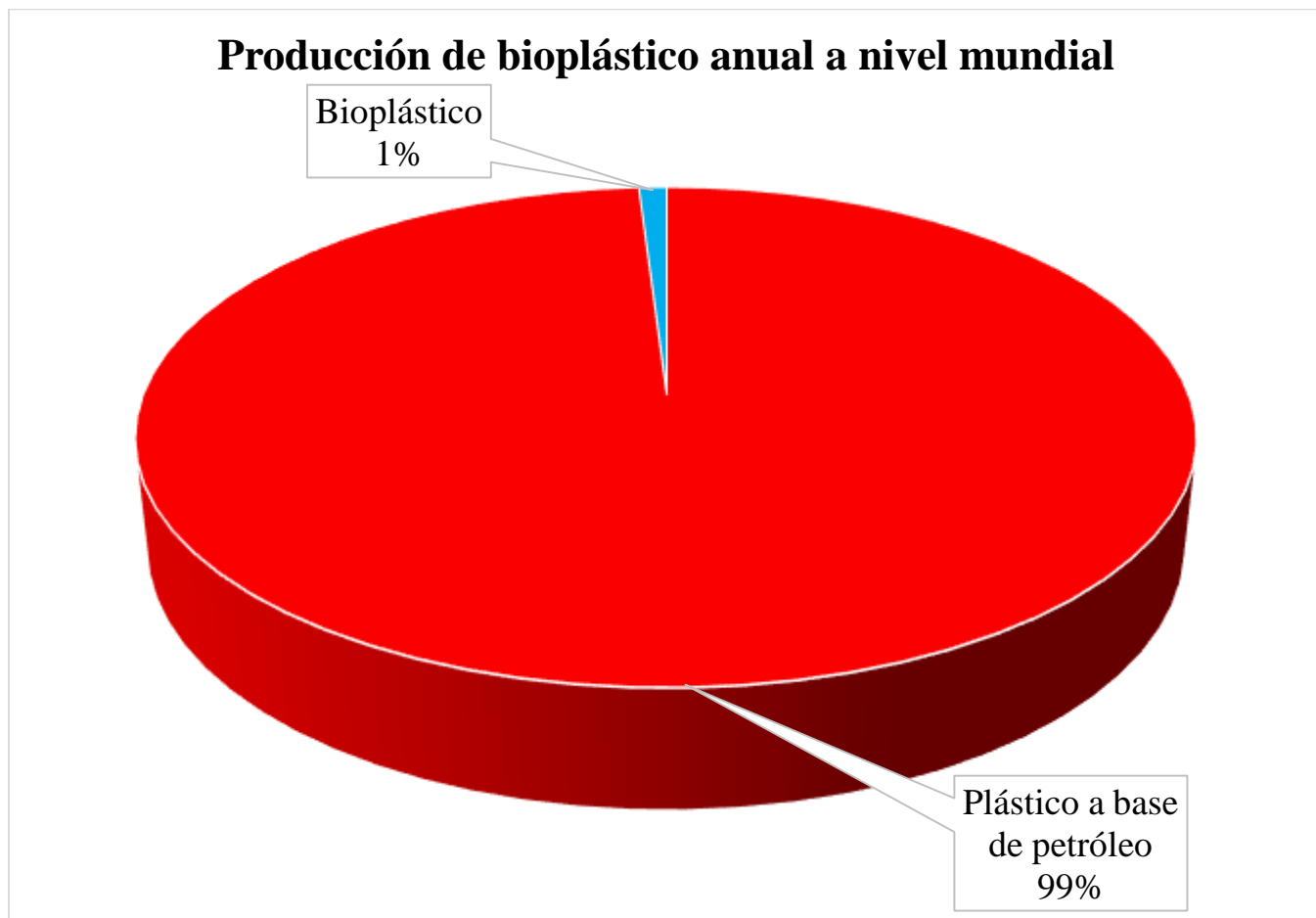
Como se menciona en la tabla 1 del marco teórico no todos los bioplásticos son biodegradables, ni provienen de una base biológica; sin embargo, para la construcción de este documento solo se caracterizan aquellos que provienen de una base biológica y por lo tanto son 100% biodegradables en procesos aerobios y anaerobios. Recordando que los principales bioplásticos biodegradables hoy en día provenientes de una base biológica son: almidones termoplásticos, el ácido poliláctico y el polihidroxialcanoato. (Abraham et al., 2021)

Para producción y consumo de bioplásticos trae consigo grandes beneficios hoy por hoy en el mundo, ya que estos tienen grandes ventajas que disminuyen los impactos ambientales causados por el ser humano en el pasado y presente de la construcción social; como ventajas se tiene:

1. La reducción de emisiones CO<sub>2</sub>, pues hay estudios que demuestran que la producción de una tonelada métrica de bioplástico genera 0.8% de emisiones, lo que equivale a 3.2 veces menos emisiones de CO<sub>2</sub> que se producen con el plástico proveniente del petróleo. (Abraham et al., 2021)
2. Reducción de la huella de carbono, ya que un análisis de ciclo de vida realizado a los plásticos comunes reveló que alrededor de 2.0Kg equivalentes de CO<sub>2</sub> por plástico, mientras que las emisiones por bioplástico son 4 veces menos. (Abraham et al., 2021)
3. Alternativa más económica, debido a la escasez de petróleo a nivel mundial los precios de producción de plástico han aumentado los últimos años a nivel mundial, mientras que los bioplásticos al tener diferentes fuentes de materia prima resultan ser la mejor alternativa de producción al disminuir los costos de fabricación. (Abraham et al., 2021)
4. Gran variabilidad de disposición final, puesto que estos generalmente son fabricados por una base biológica. (Abraham et al., 2021)

5. Reducción en la generación de residuos sólidos, los bioplásticos resultan una gran alternativa para disminuir la gran problemática de plásticos que hay hoy en el mundo y a su vez disminuye la generación de residuos sólidos. (Abraham et al., 2021)

*Ilustración 3: Producción de bioplástico anual a nivel mundial*



Fuente: Construida a partir de (Abraham et al., 2021)

Anualmente en el mundo se fabrican 335 millones de toneladas de plástico de las cuales solo el 1% es bioplástico como se observa en la ilustración número 3, es decir, solo 3.35 millones de toneladas a nivel mundial son bioplástico anualmente, mientras que 331.65 millones de toneladas a nivel mundial son plástico a base de petróleo, es decir, el 99% como se observa en la ilustración número 3. (Abraham et al., 2021)

Sin embargo, hoy en día los bioplásticos tienen varias desventajas con respecto a los plásticos convencionales o a bases de petróleo, las cuales son:

1. Precios más elevados. (Abraham et al., 2021)
2. Menos propiedades en relación a los plásticos convencionales. (Abraham et al., 2021)
3. Lugares de producción, hoy en día alrededor del 55% o más de los bioplásticos son fabricados en Asia. (Abraham et al., 2021)
4. La producción de bioplásticos de base biológica no biodegradables es la que domina el mercado con un 56%. (Abraham et al., 2021)

**Tabla 2:** *Métodos de disposición final de los bioplásticos*

<b>Método</b>	<b>Proceso</b>
Reciclaje	<p>Generalmente este método sirve para los almidones termoplásticos, en este se evalúa su calidad, la cual depende de la pureza de su materia prima; este se divide en dos.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Materiales: se realiza una limpieza, se clasifica manualmente y por rayos X, se realiza un secado y una fusión.</li> <li>2. Materias primas: Los envases se limpian y después se derriten para ser convertidos en gránulos, para usarse nuevamente.</li> </ol>
Incineración	<p>Se realiza a través de mono combustión y co-combustión, donde el desafío de este proceso está en la emisión de gases peligrosos, ya que estos son mezclados con residuos sólidos urbanos.</p>
Compostaje	<p>Se usa el método aeróbico para este caso, ya que los bioplásticos biodegradables de base biológica</p>

### Relleno sanitario

son un abono rico en nutrientes y carbono; su único problema es el tiempo de biodegradación cuando se realiza compostaje doméstico. Este no requiere de limpieza o algún tratamiento preliminar, al igual de que no requiere clasificación y es un método económico para la biodegradación de bioplásticos; su problema radica en la disponibilidad adecuado de los demás residuos y del terreno, para varios expertos esta debe ser la última de las opciones puesto a que hoy en día no se posee una adecuada gestión y control de residuos en el mundo.

### Digestión anaeróbica

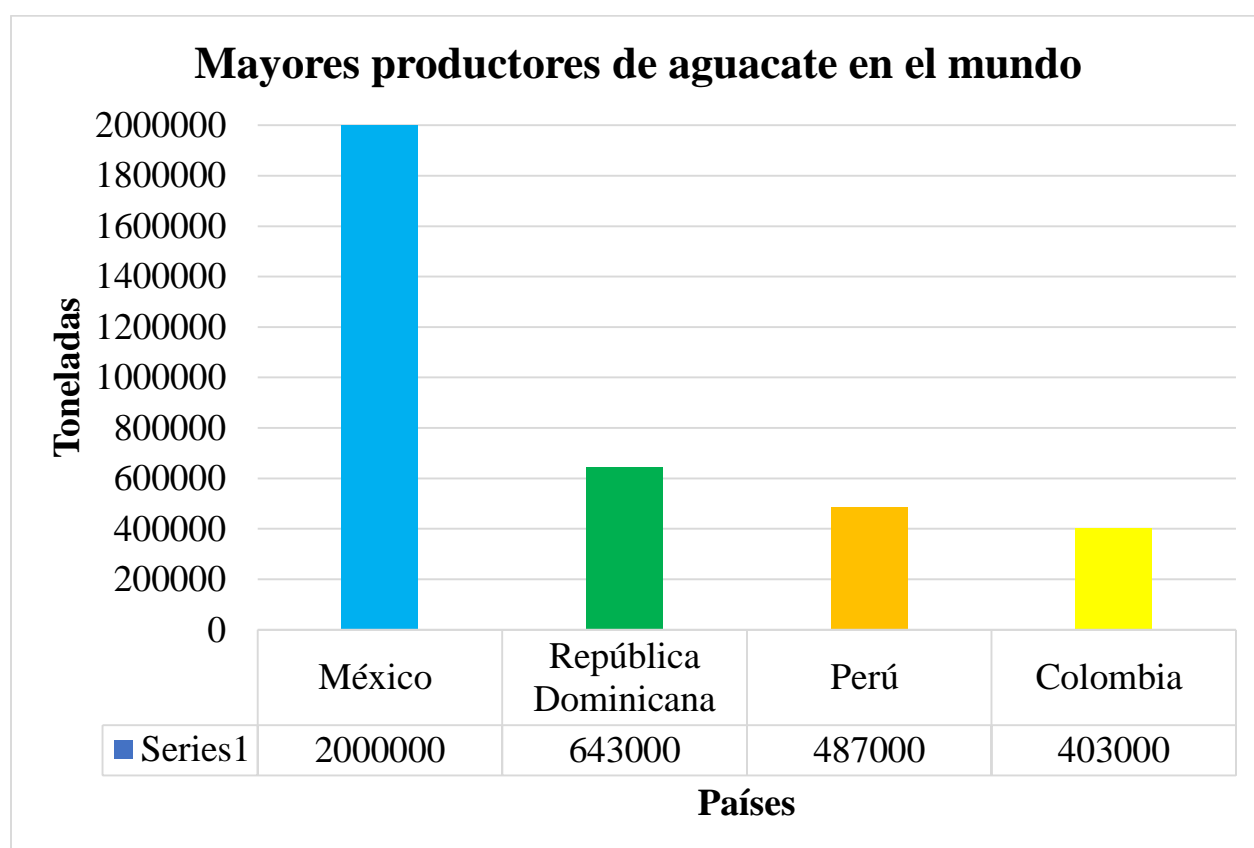
Es un método ecológico en donde los bioplásticos pueden mezclarse con residuos agrícolas, de alimentos estiércol, lodos provenientes del tratamiento de agua potable y residual, etc., producen menos emisiones de CO<sub>2</sub> a comparación del compostaje, y finalmente con este método se puede producir energía a partir del gas metano y su tiempo de biodegradación es menor al del compostaje. Su limitante radica en que solo se pueden poner plásticos 100% biodegradables de lo contrario este método tendrá un rotundo fracaso.



## 8.2 Caracterización de la semilla de aguacate en Colombia

Para el año 2018 FINAGRO publicó una ficha de inteligencia sobre la producción de aguacate en Colombia, en donde se menciona que para dicho año Colombia se posiciona en el 4 lugar de los mayores productores de aguacate en el mundo, con 403 mil toneladas de aguacate como se observa en la ilustración número 4 y en el 3 lugar en relación al área de la cosecha con un 6% de área mundial, (FINAGRO, 2018)




*Ilustración 4: Mayores productores de aguacate en el mundo*



Fuente: Construida a partir de (FINAGRO, 2018)

Este informe también reveló cuales son las especies de aguacate que más se siembran en Colombia, los cuales son: Lorena, Trinidad, Booth-8, Fuerte, Hass, Trapo, Santana, Colinred, Ettinger; recordando que los principales departamentos de producción de dicho fruto son Tolima, Caldas, Valle del Cauca y Antioquia, donde las cosechas se obtienen en: abril, septiembre, octubre y noviembre. (FINAGRO, 2018)

**Tabla 3:** Composición de las diferentes semillas de aguacate

Nombre de la semilla	Imagen de la semilla	Composición	Fuente
Lorena		Almidón: 67.6% Amilosa: 32.4% Amilopectina: 35.3% Agua: 1.08% Ceniza: 1.03% Grasa: 1.8% Proteína: 10.4%	(Chapuel Tarapuez & Reyes Suárez, 2019)
Fuerte		Proteínas: 2.5% Azúcar: 2.2% Lípidos neutrales: 3.2% Glicolípidos: 13% Fosfolípidos: 10.9% Almidón: 29.6% Grasas: 1.0%	(Chil-Nunez et al., 2019)
Hass		Proteínas: 2.4% Azúcar: 3.5% Lípidos neutrales: 2.5% Glicolípidos: 12% Fosfolípidos: 7.4% Almidón: 27.5% Grasas: 0.8%	(Chil-Nunez et al., 2019)

Fuente: Autor

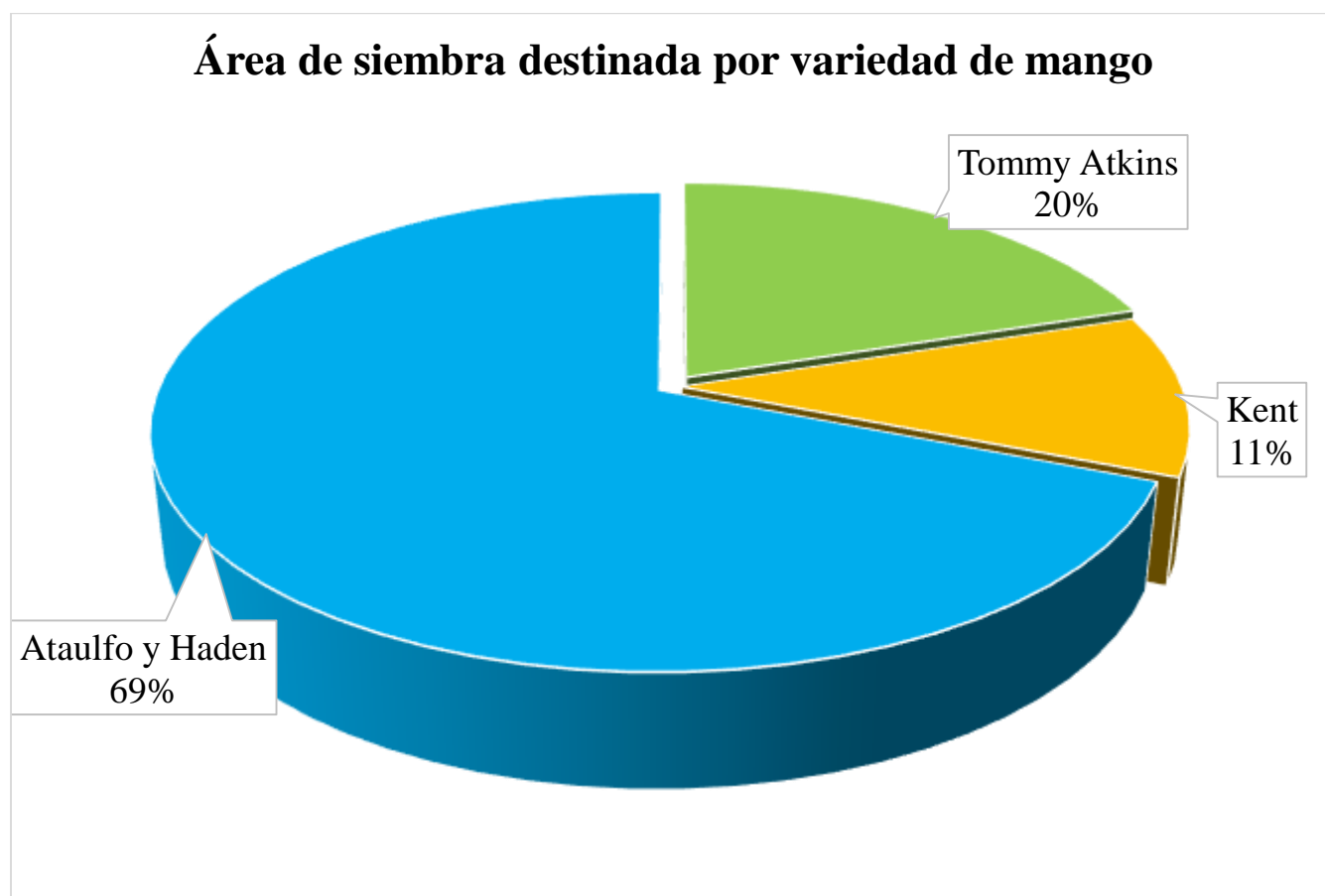
**Nota:** La semilla del aguacate generalmente tiene un peso aproximado de 15% al 18% sobre el peso total del aguacate recién cosechado, sin importar su especie.

Según la literatura consultada en diferentes páginas web y diferentes bibliotecas de Colombia y el extranjero se encontró que las tres semillas más estudiadas y caracterizada son las presentadas en la tabla número 3, aclarando que las diferentes composiciones mostradas en dicha tabla se han determinado a partir de investigaciones realizadas por el campo de salud nutricional y el campo de ingeniería en la línea de eco productos.

### 8.3 Caracterización de la semilla de mango en Colombia

Un artículo publicado por la base de datos Scielo, dio a conocer las variedades de mango más cultivadas en el Colombia, las cuales son: Kent, Aaulfo, Tommy Atkins y Haden; donde el 20% del área de siembra en los departamentos cultivadores de mango corresponde a la variedad de Tommy Atkins, el 11% a la variedad de Kent y el 67% se divide en las variedades Aaulfo y Haden (No se conoce qué porcentaje que corresponde a las variables anteriormente mencionadas), como se observa en la ilustración número 5. (Corrales-Bernal et al., 2014)

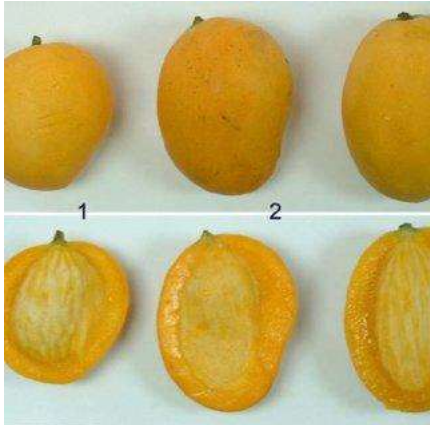


*Ilustración 5: Distribución del área de siembra por variedad mango*



Fuente: Construida a partir de (Corrales-Bernal et al., 2014)

Colombia es el vigésimo país productor de mango en el mundo con una cantidad aproximada de 239 mil toneladas equivalentes al 0.6% de la producción mundial. Este estudio reveló que los mejores mangos del país provienen de los departamentos de Cundinamarca, Tolima y Huila. (Corrales-Bernal et al., 2014)

**Tabla 4:** *Composición de las diferentes semillas de mango*

Nombre de la semilla	Imagen de la semilla	Composición
Kent		<p>Almidón: 69.2%</p> <p>Grasa: 8.3% al 16.1%</p> <p>Proteína: 5.6% al 9.5%</p> <p>Fibra: 0.1% a 2.9%</p> <p>Cenizas: 0.3% al 3.6%</p>
Ataulfo		<p>Almidón: 79.8%</p> <p>Grasa: 8.3% al 16.1%</p> <p>Proteína: 5.6% al 9.5%</p> <p>Fibra: 0.1% a 2.9%</p> <p>Cenizas: 0.3% al 3.6%</p>
Tommy Atkins		<p>Almidón: 69.2%</p> <p>Grasa: 8.3% al 16.1%</p> <p>Proteína: 5.6% al 9.5%</p> <p>Fibra: 0.1% a 2.9%</p> <p>Cenizas: 0.3% al 3.6%</p>

Haden



Almidón: 79.8%

Grasa: 8.3% al 16.1%

Proteína: 5.6% al 9.5%

Fibra: 0.1% a 2.9%

Cenizas: 0.3% al 3.6%

---

Fuente: (Sumaya-Martínez et al., 2019)

**Nota:** Los subproductos provenientes del mango (Cáscara, semilla y pulpa adherida a la semilla) cuentan con un peso del 35% al 60% del peso total del mango recién cosechado. (Sumaya-Martínez et al., 2019)

Según la literatura consultada en diferentes páginas web y diferentes bibliotecas de Colombia y el extranjero se encontró que las semillas más estudiadas y caracterizada son las presentadas en la tabla número 4, cabe resaltar que las diferentes composiciones mostradas en dicha tabla se han determinado a partir de una investigación realizada por el campo de la farmacéutica y el campo de la ciencia y la química, con el fin de evaluar sus capacidades antioxidantes. (Sumaya-Martínez et al., 2019)

#### 8.4 Caracterización de la semilla de Tamarindo en Colombia

Para el año 2017 la revista virtualpro publicó una investigación sobre los frutos y sus diferentes variedades que se siembran en la región caribe de Colombia y sus beneficios; esta indagación reveló que en Colombia se siembra únicamente una variedad de tamarindo, la cual lleva por nombre *Tamarindus indica* L, proveniente del África. (Vergara et al., 2017)

**Ilustración 6:** *Tamarindo Tamarindus indica Haden L.*

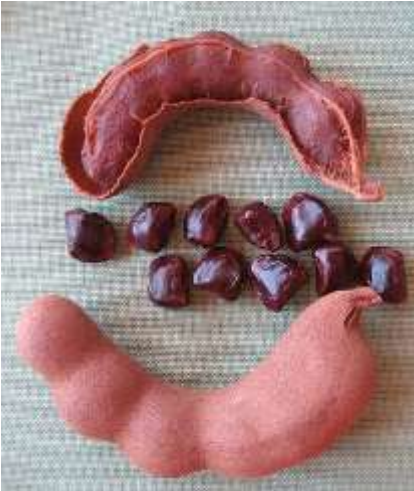


Fuente: (Pérez Hernández, 2016)

Como se observa en la ilustración número 6 es un árbol de hojas verdes que alcanzan los 24 m de altura, tiene un fruto de color marrón oscuro cuando ya está para cosechar; este fruto tiene múltiples beneficios para la salud, tanto así que la Organización Mundial de la Salud (OMS) lo ha recomendado en varias de sus investigaciones. (Vergara et al., 2017)

Es de dominio público y cultural saber que esta variedad de tamarindo se ha adaptado perfectamente en Colombia debido al clima templado y seco de la región caribe de Colombia, sin dejar de lado el tipo de suelos ligeramente ácidos que posee esta región del país. Cabe aclarar que en la literatura consultada Colombia no aparece como potencial productor de este fruto como pasa con en el aguacate y el mango.

**Tabla 5:** Composición de la semilla de Tamarindo

Nombre de la semilla	Imagen de la semilla	Composición
Tamarindus indica L		Carbohidratos: 50% al 57% Proteína: 13.3% al 26.9% Agua: 9.4% al 11.3% Ceniza: 1.6% al 4.2% Almidón: 33.1% Grasa: 4.5% al 16.2% Azúcar: 11.3% al 25.3%

Fuente: (Naranjo Yáñez, 2019)

**Nota:** Los carbohidratos presentes en la semilla de tamarindo son glucosa, xilosa y arabinosa sin porcentajes definidos o determinados (Naranjo Yáñez, 2019); por otro lado, el peso de la semilla de tamarindo es de aproximadamente un 35% del peso total del tamarindo recién cosechado. (Pumalema Miranda, 2020)

Según la literatura consultada en diferentes páginas web y diferentes bibliotecas de Colombia y el extranjero se encontró la composición anteriormente mencionada es la más completa que existe hoy en día con respecto a la semilla de tamarindo, esta caracterización fue realizada en el campo de la ingeniería ambiental con el fin de generar un nuevo coagulante de extracto natural para el tratamiento de lixiviados. (Naranjo Yáñez, 2019)



## 10. Análisis de resultados

Los bioplásticos biodegradables y no biodegradables hoy en día no tienen una composición generada o definida como se ha descrito a lo largo del presente documento, esta depende en gran parte del almidón, los aditivos y la finalidad del producto, es decir, los bioplásticos no se componen de la misma manera siempre, para determinar esta composición se necesita realizar varias pruebas de laboratorio y conocer la finalidad del producto, de esta manera se sabrá si realmente este cumple con los diferentes requisitos finales del producto.

Estos tampoco tienen un proceso de fabricación exacto o definido, dependen mucho del objetivo con que se desea fabricar el bioplástico, esto determina su proceso de fabricación y su finalidad, de igual manera el proceso de fabricación depende en gran parte de la materia prima que se use, pues ésta determinará si el producto es biodegradable o no y qué porcentaje de este producto lo es, ya que como se mencionaba anteriormente en el documento que un producto diga biodegradable no significa que este sea 100% biodegradable. (Abraham et al., 2021)

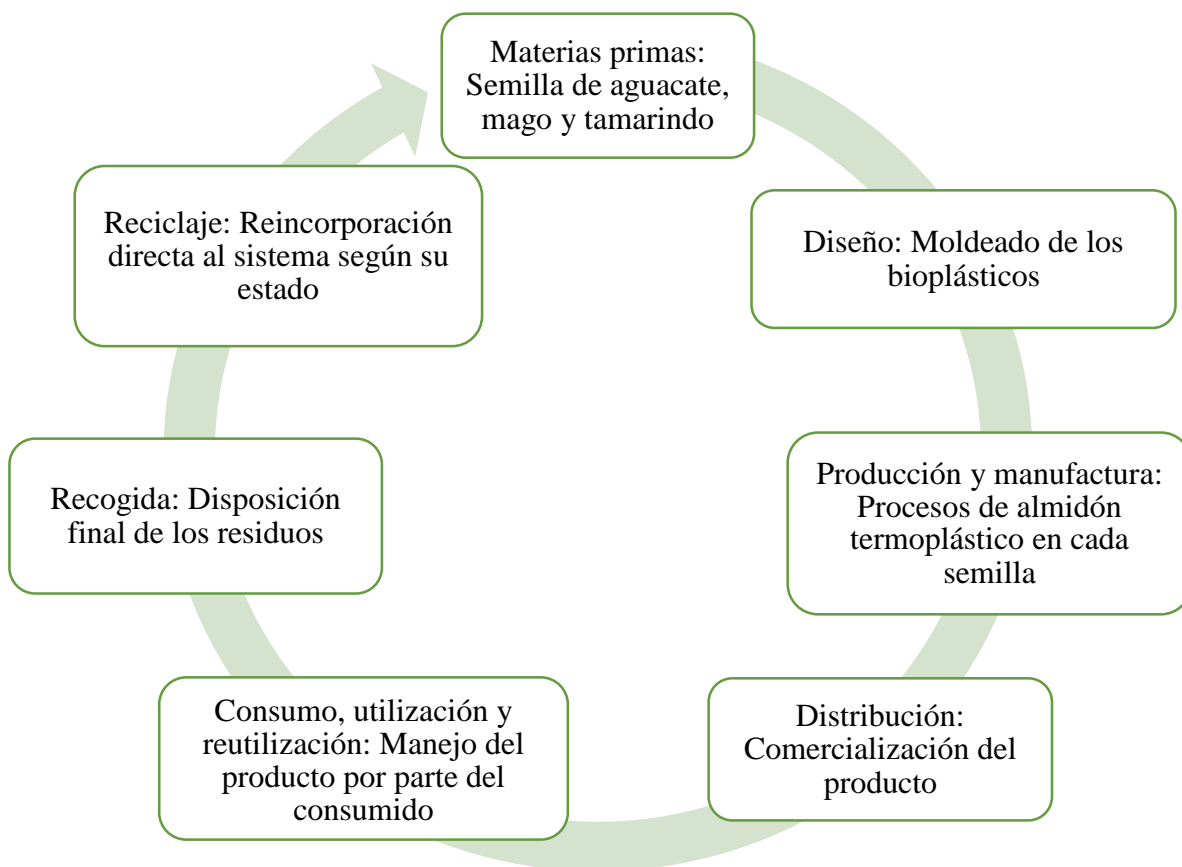
Sin embargo, los fabricantes de bioplásticos provenientes de una base biológica aseguran que sus productos son 100% biodegradables con el objetivo de reducir al mínimo su impacto ambiental en el mundo, esto concluye va a obtener grandes beneficios en la parte económica de cada una de las industrias y su vez ayuda a obtener grandes reconocimientos en el mercado.

Los bioplásticos derivados de una base biológica generalmente provienen de procesos de almidones termoplásticos y esto se debe a un factor fundamental, el cual es que gran parte de la materia prima de estos llega de los residuos agrícolas (Semillas, cáscara, pulpa adherida a la cáscara y la semilla, hojas del producto agrícola, etc.), estos últimos generalmente contienen grandes cantidades de almidón en su composición generando buenas reacciones de entre el almidón y los plastificantes polares que se encuentran en el mercado. (Wang et al., 2021)

Los procesos de almidones termoplásticos son de los mayores precursores de productos biodegradables hoy por hoy en las industrias, esto debido a la nueva revolución de plástico y su necesidad de disminuir sus impactos ambientales, en donde por lo general los bioplásticos compuestos de almidón termoplástico son 100% biodegradables, la biodegradabilidad de estos productos depende del porcentaje de almidón que contienen en la composición del producto, es decir, a mayor porcentaje de almidón mayor biodegradabilidad de producto. El porcentaje de almidón que contienen los bioplásticos de base biológica también ayudan a acelerar el tiempo de biodegradación del producto final. (Wang et al., 2021)

Hoy por hoy los bioplásticos de base biológicos son una gran alternativa de negocio que sin duda alguna apoyan la economía circular, la cual se ha globalizado en la última década; esta alternativa de negocio incorporar materias primas que hoy en día se consideran residuos para transformarlas en un producto que finalmente se puede reintegrar nuevamente al sistema, en la ilustración número 5 se observa claramente cómo a partir de las semillas mencionadas a lo largo de este documento se transforman en bioplástico y aportan a la economía circular. (E. H. De Jaramillo et al., 2019)

**Ilustración 7:** Economía circular a partir de las semillas de aguacate, mango y tamarindo

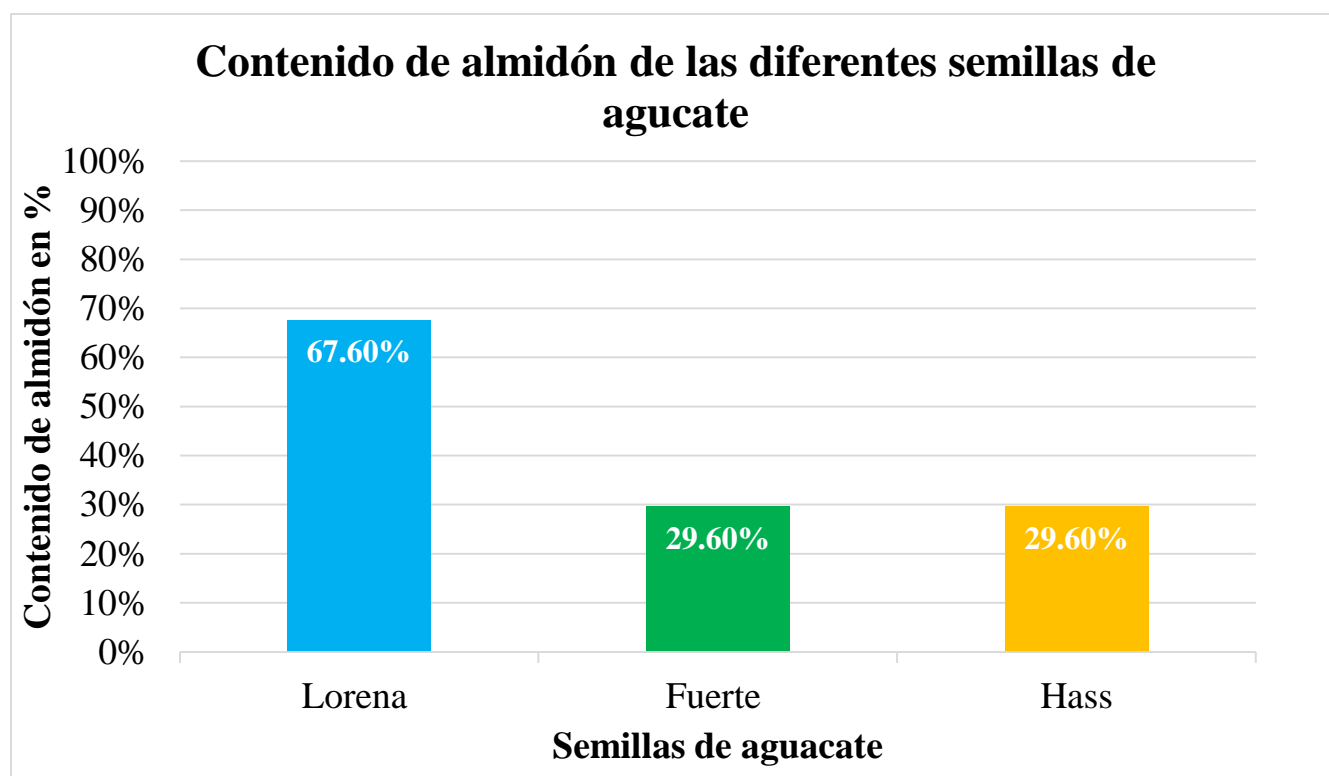


Fuente: Autor

## 10.1 Semilla de aguacate

Las diferentes semillas de aguacate descritas en este documento tienen un alto contenido de almidón el cual se encuentra entre el 60% y 30%, en donde el proceso de almidón termoplástico se ve beneficiado (Chil-Nunez et al., 2019), generando una alternativa de fabricación de ecoproductos a través del proceso anteriormente mencionado; en la ilustración 8 se observa que porcentaje de almidón hace parte de la composición de cada semilla de aguacate.

*Ilustración 8: Comparación de las semillas de aguacate*



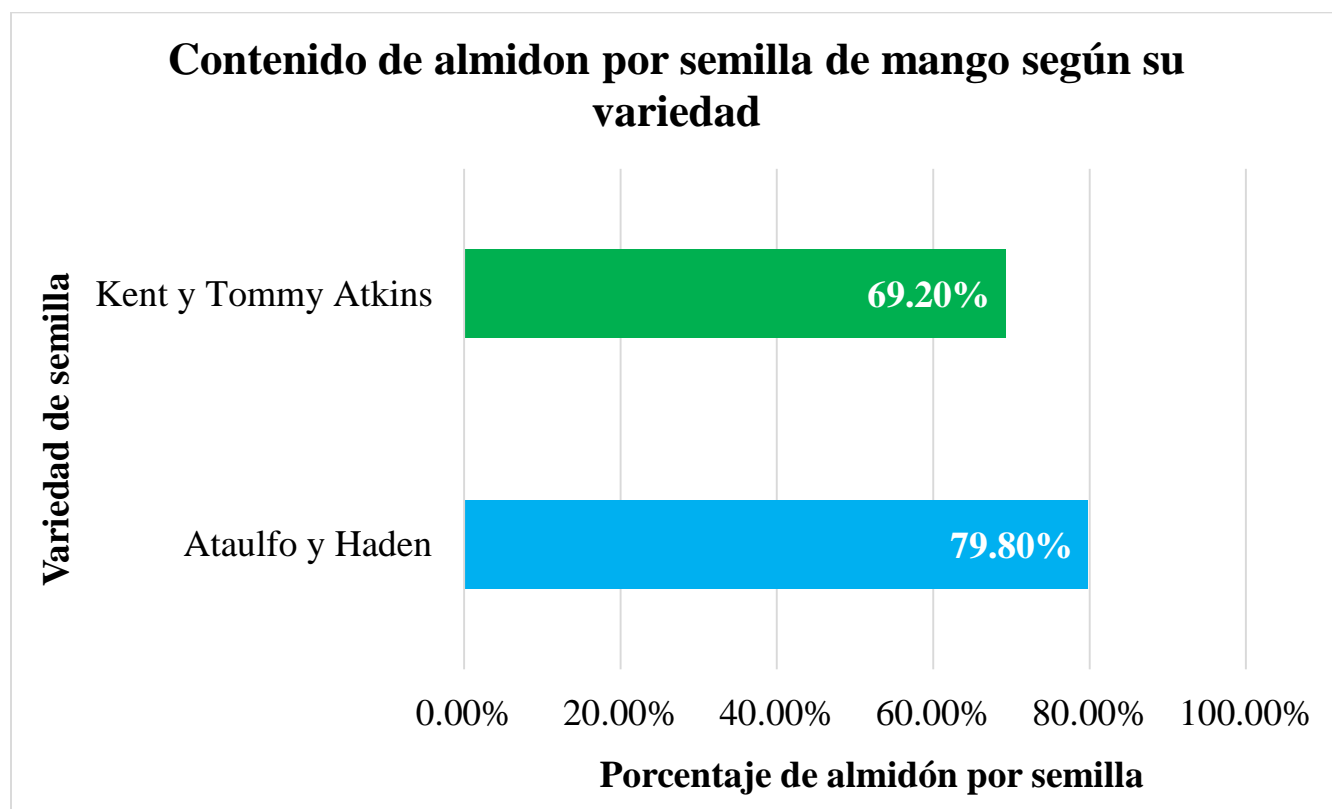
Fuente: Autor

Teóricamente la semilla que mejor resultados daría en este proceso de transformación de materias primas para la fabricación de bioplásticos a partir de la semilla de aguacate, es la semilla Lorena o Persa Americana, debido al alto porcentaje de almidón que presenta esta semilla el cual se compone de un 32.4% de amilosa y un 35.2% de amilopectina; mientras que del almidón de las otras dos semillas de aguacate solo se conoce un componente, el cual es el azúcar o glucosa con un 2.2%, los demás compuestos son totalmente desconocidos. (Chapuel Tarapuez & Reyes Suárez, 2019)

## 10.2 Semilla de mango

Las semillas de mango tienden a tener la misma composición sin importar su variedad como se puede observar en la tabla número 4, en la literatura consultada se encontró que las variedades Ataulfo y Haden son las que mejor contenido de almidón por semilla; en los estudios revisados y consultados para la construcción de la tabla número 4 se encontró que las variedades anteriormente mencionadas de mango contienen 79.8% de almidón, lo cual favorece la producción de almidón para la generación de resinas bioplásticas provenientes de la semilla de mango.

*Ilustración 9: Contenido de almidón de la semilla de mango*



Fuente: Autor

En la ilustración número 9 se observa una gráfica en donde se evidencia que más de la 50% de las de la semilla de mango sin importar su variedad está compuesta por almidón, los porcentajes de composición varía dependiendo las condiciones climáticas, suelos, tipo de abono y tipo de pesticida que se use para mantener el cultivo, sin embargo, hay varios estudios que hablan de la obtención de una

biopelícula biodegradable de bioplástico moldeable a partir de la semilla de mango en procesos de almidón termoplástico como se muestra en el estado del arte.

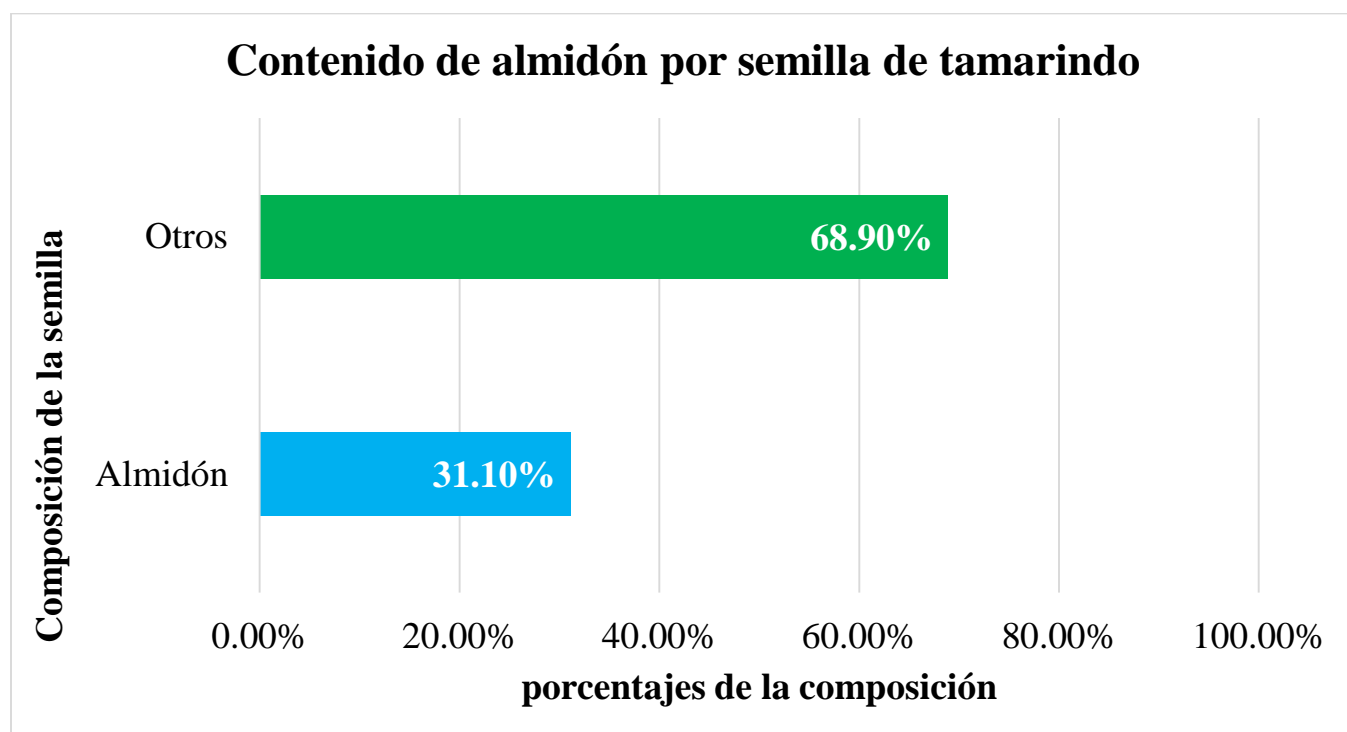
La semilla de mango independientemente su especie resulta favorable para la obtención de bioplástico debido a las diferentes cadenas de glucosa que poseen en su interior, sin dejar de lado que de esta se puede obtener fácilmente un almidón rico en enlaces de hidrógenos ideales para el proceso de almidones termoplásticos.

En base a su caracterización y lo que se menciona en este apartado del análisis y resultado teóricamente la mejor variedad de semilla de mango para la elaboración de bioplásticos, son las semillas Ataulfo y Haden, pues estas abarcan el 69% de la producción nacional de mango como se observa en la ilustración número 4, es decir, las especies de mango Ataulfo y Haden son las que más residuos generan a nivel nacional, los cuales hoy en día no están siendo aprovechados de la manera adecuada.

### 10.3 Semilla de tamarindo

Como se menciona anteriormente en Colombia solo se siembra un tipo de tamarindo el cual lleva por nombre *Tamarindus Indica L*, el cual contiene un 31.1% de almidón en su composición; el almidón que se puede obtener de esta semilla tiene dos compuestos fundamentales los carbohidratos (Glucosa, xilosa y arabinosa sin porcentajes definidos) en un 53.5% y azúcar con un 18.3%. En la ilustración número 10 se observa la composición de la semilla de tamarindo. (Sumaya-Martínez et al., 2019)

*Ilustración 10: Composición del almidón obtenido de la semilla de tamarindo*



Fuente: Autor

Sin embargo, esta semilla resulta una excelente alternativa para la fabricación de bioplásticos en Colombia, debido a que por cada fruto salen alrededor de unas 4 a 5 semillas que no se aprovechan hoy en día dentro del país, las cuales equivalen al 35% del peso total del fruto, sin olvidar que su almidón es altamente rico en carbohidratos, azúcar y enlaces de hidrógeno definidos, para realizar el proceso de almidones termoplásticos. (Sumaya-Martínez et al., 2019)

## 10.4 Determinación de las mejores semillas para la fabricación de bioplástico en Colombia

Según la literatura consultada teóricamente las semillas que más convienen usar por fruto para la elaboración de bioplástico a partir de una base biológica, en procesos de almidón termoplástico son:

1. Aguacate: Semilla Lorena o Persea americana
2. Mango: semilla Ataulfo y Haden

En la tabla número 6 se observarán las características por las cuales se seleccionó las tres semillas anteriormente mencionadas

**Tabla 6:** Semillas seleccionadas

Fruto	Nombre de la semilla	Porcentaje de almidón	Producción de la semilla en Colombia
Aguacate	Lorena	Almidón: 67.6% Compuesto por: - Amilosa: 32.4% - Amilopectina: 35.3%	No se conoce su porcentaje o cantidad de toneladas producidas de esta variedad, sin embargo, se conoce que Colombia producen 403 mil toneladas de aguacate
Mago	Ataulfo y Haden	El almidón de mango se compone de carbohidratos entre 69.2% al 79.8%	Estas dos variedades abarcan el 69% de la producción nacional de mango

Fuente: Autor



**Nota:** Las semillas seleccionadas en la anterior tabla al mostrado grandes resultados en estudios anteriormente realizados para la obtención de películas 100% biodegradables de bioplástico, fáciles de moldear, tanto así que hoy en día la eco economía mexicana encontró un pilar en la fabricación de bioplástico a partir de la semilla de aguacate y son reconocidos en Latino América debido a su exclusiva tecnología.

## 10.5 Análisis del ciclo de vida

### *10.5.1 Ciclo de vida de un plástico convencional*

En 2009 el SMARNAT (secretaría de medio ambiente y recursos naturales) en México publicó un estudio en donde se explica detalladamente el ciclo de vida que tiene una bolsa plástica común, en donde evaluaban la fabricación de materias primas, producción de bolsas, uso, transporte, disposición final, las cuales se explicaran a continuación. (Encarnación et al., 2009)

- 1. Extracción de materias primas:** En este se evalúa la construcción de la plataforma, los insumos requeridos para la extracción de gas natural, crudo, etc. (Encarnación et al., 2009)
- 2. Transporte:** La bolsa resulta a partir de la modelación de polímeros y aditivos plastificantes, en este se debe considerar el transporte que se utiliza desde el momento en el que se extrae la materia prima, pasa por el proceso de fabricación, para finalmente llegar a los consumidores. (Encarnación et al., 2009)
- 3. Uso:** Este depende del consumidor en donde generalmente tiende a dársele un segundo y tercer uso a la misma bolsa plástica, con el objetivo de reducir impactos ambientales, resaltando que esta no es la mejor opción. (Encarnación et al., 2009)
- 4. Disposición final:** Esta da fin al ciclo de vida y genera grandes impactos ambientales debido a la contaminación de manglares, océanos, mares, ríos, etc.; alrededor del 99% de las bolsas terminan en rellenos sanitarios y solo el 1% se recicla por medio de los programas estatales y particulares como se observa en la ilustración número 11. (Encarnación et al., 2009)

**Ilustración 11: Plásticos reciclados**

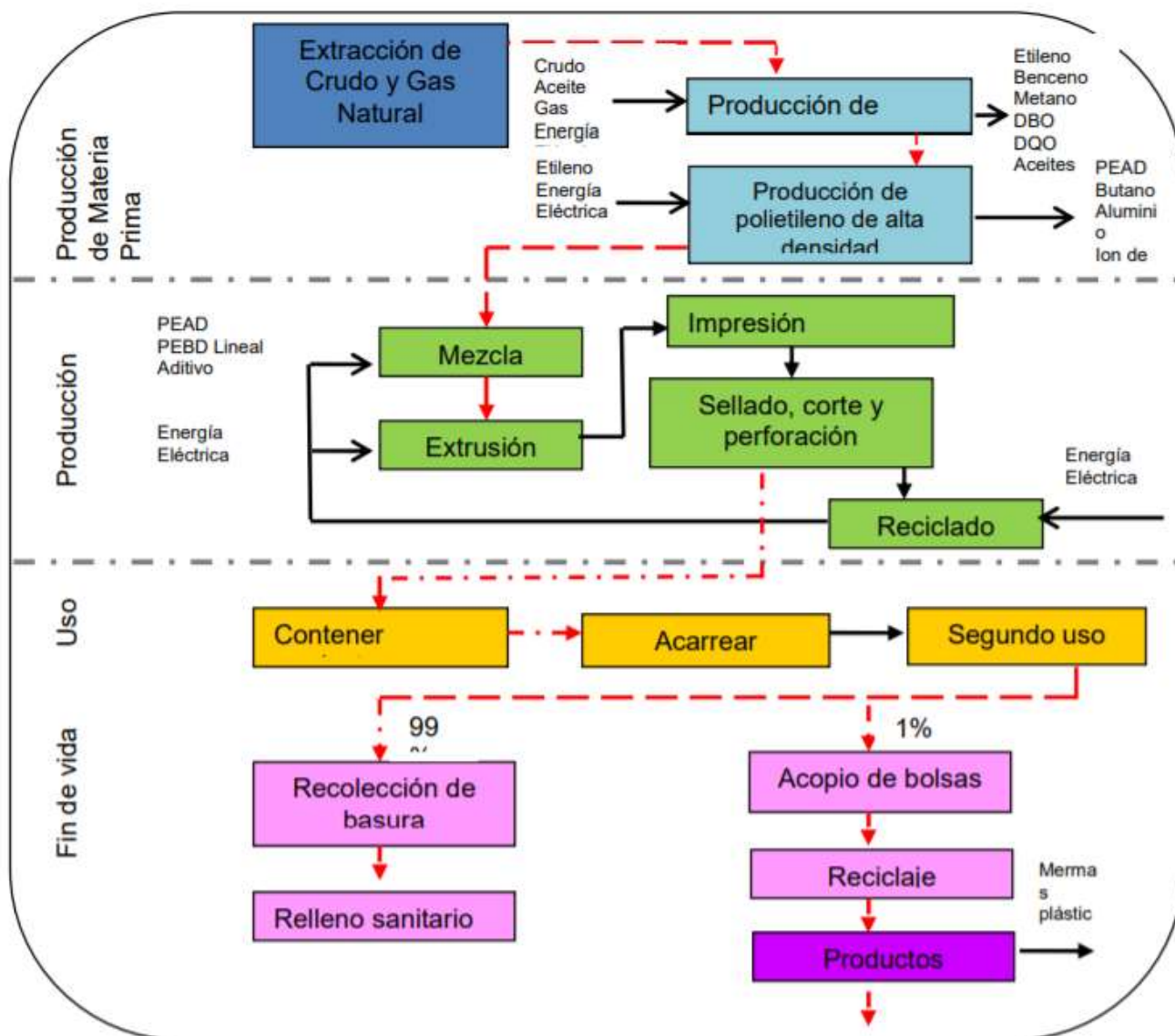


Fuente: Autor

Lo anterior se muestra en la ilustración número 12, en donde se muestra cada una de las etapas del ciclo de vida explicada y delimitada. En esta ilustración se puede observar que la parte de producción y uso que tiende a mostrar una economía circular, debido a que se tiene en cuenta el reciclaje como una forma de incorporar dicho producto al sistema nuevamente, lo anterior solo se cumple en el 1% de los casos, en donde el consumidor intenta aprovechar dicho bien continuamente. (Encarnación et al., 2009)

Sin embargo, la ilustración número 12 se puede observar como una bolsa plástica hace parte de la economía lineal del sistema capitalista que hoy en día se vive en el mundo, pues esta realiza una cadena en donde se extraen las materias primas, se realiza la fabricación y diseño del producto, se utiliza, para finalmente disponerlo en un relleno sanitario en el mejor de los casos. (Encarnación et al., 2009)

*Ilustración 12: Ciclo de vida de una bolsa plástica*



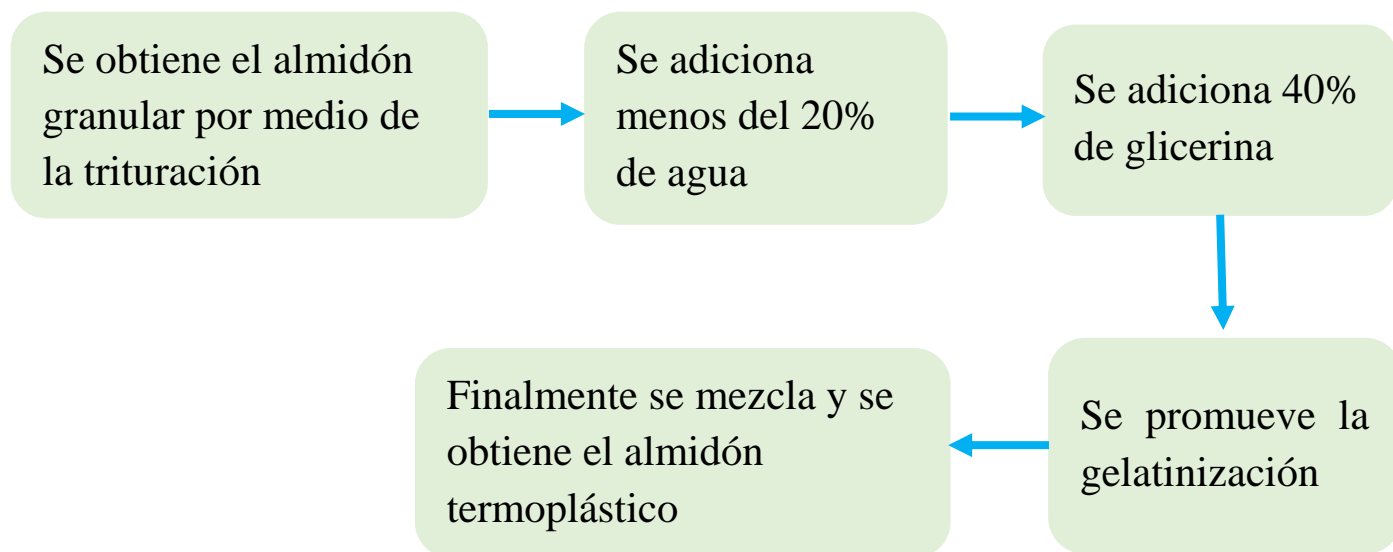
Fuente: (Encarnación et al., 2009)

### 10.5.2 Ciclo de vida un bioplástico

A lo largo del presente documento se ha descrito el proceso de fabricación de una resina bioplástica a partir de una base biológica, sin embargo, en esta etapa se analizarán la obtención de materias primas, transporte, diseño, producción, reincorporación al sistema.

- 1. Obtención de materias primas:** Estas resultan de los residuos agrícolas y del consumo de diferentes alimentos por parte de la sociedad tales como el aguacate, el mango y el tamarindo.
- 2. Transporte:** Este se evalúa desde el momento en el que se obtienen la materia prima y se lleva a la modelación, para después ser llevada a los consumidores y finalmente incorporar al sistema.
- 3. Diseño:** Se establece el diseño y los impactos ambientales que se pueden generar a partir de dichos procesos de fabricación.
- 4. Producción:** Se utiliza el modelo de almidón termoplástico que se observa en la ilustración número 13.
- 5. Reincorporación al sistema:** Allí se evalúan los diferentes usos que da el consumidor hasta la desintegración del producto.

*Ilustración 13: Proceso de almidón termoplástico*



Fuente: (Ruiloba et al., 2018)

## 10.6 Análisis de impactos ambientales a partir de la rueda de estrategias de ecodiseño.

Esta rueda evalúa el beneficio de nuevos proyectos a favor del medio ambiente a través de las diferentes fases del ciclo de vida; Este tiene siete ejes que coinciden con el ciclo de vida y es de tipo telaraña.

Los 7 ejes a evaluar son:

1. Materiales de bajo impacto.
2. Reducción del uso de materiales.
3. Técnicas para optimizar la producción.
4. Optimización del sistema de distribución.
5. Reducción del impacto ambiental durante el uso.
6. Optimización de la vida útil.
7. Optimización del sistema de fin de vida.

Esta rueda de estrategias para el ecodiseño se pondera según el evaluador y de esta misma manera el evaluador decide qué calificación da según el ciclo de vida de cada producto, para el presente documento se califica de 1 a 3 siguiendo las siguientes ponderaciones:

1. Bajo impacto ambiental.
2. Medio impacto ambiental.
3. Alto impacto ambiental.

En la tabla número 7 se califica el impacto ambiental que genera un plástico convencional (Bolsa plástico) versus el impacto ambiental que genera un plástico (Resina bioplástica a partir de procesos de almidón termoplástico), esto revisando el ciclo de vida de ambos productos.

**Tabla 7:** Evaluación del ciclo de vida

<b>Criterio</b>	<b>Plástico</b>	<b>Bioplástico</b>
Materiales de bajo impacto	3	1

Reducción del uso de materiales	3	1
Técnicas para optimizar la producción	2	2
Optimización del sistema de distribución	2	2
Reducción del impacto ambiental durante el uso	3	1
Optimización de la vida útil.	3	1
Optimización del sistema de fin de vida	3	1

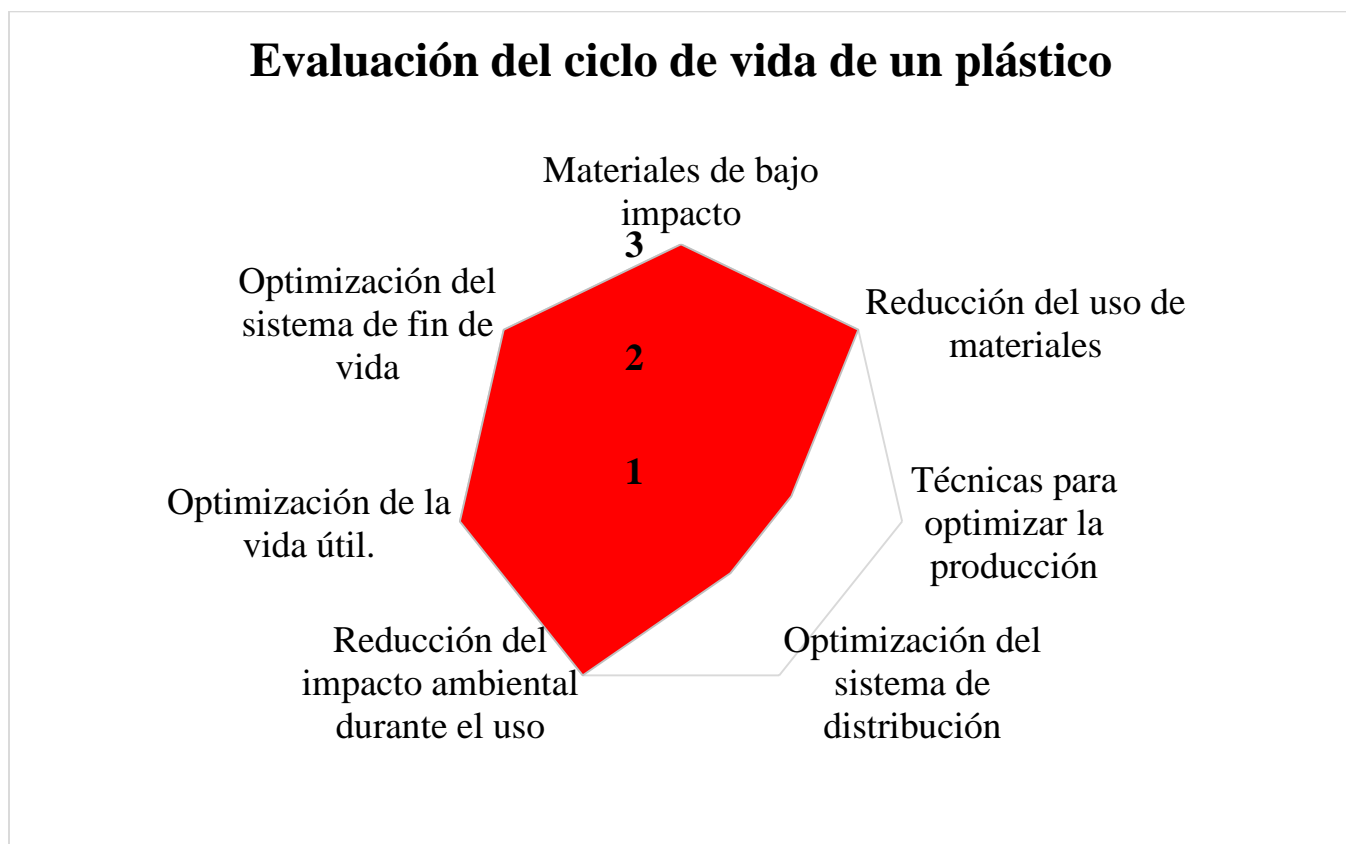
---

Fuente: Autor

La rueda de estrategias de ecodiseño funciona de la siguiente manera: A mayor área sombreada en la gráfica mayor impacto ambiental en la vida real.

En las ilustraciones 14 y 15 se muestran las gráficas radiales que evalúan el ciclo de vida de un plástico convencional y una resina bio plástica en donde se evidencia una mayor área sombreada en la evaluación del plástico convencional dando nos a entender que al hacer la revisión del ciclo de vida de ambos productos en todas las etapas el producto más contaminante es en plástico convencional.

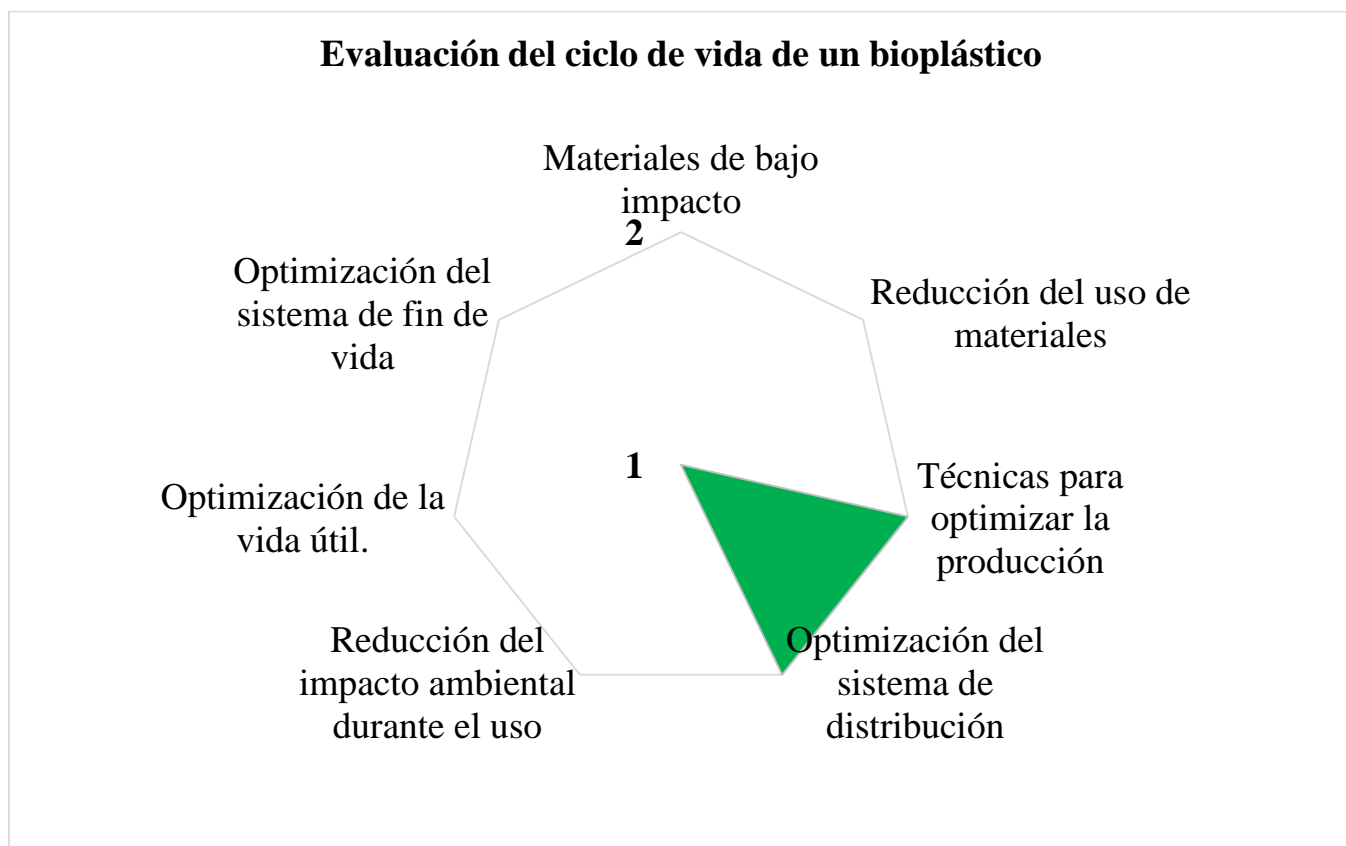
*Ilustración 14: Evaluación del ciclo de vida de un plástico convencional*



Fuente: Autor



**Ilustración 15:** Evaluación del ciclo de vida de una resina bioclástica



Fuente: Autor

## 11. Conclusiones

1. Se caracterizaron 3 variedades de la semilla de aguacate en donde se elige la especie Lorena, ya que esta especie contiene 67.6% de almidón en su contenido por semilla; se caracterizaron 4 variedades de la semilla de mango, en donde se seleccionaron las especies Ataulfo y Haden, debido a que estas dos variedades contienen 79.8% de almidón en su contenido por semilla y finalmente se caracterizó una variedad de la semilla de tamarindo, la cual contiene 31.1% de almidón por semilla.
2. A partir de la revisión del ciclo de vida de un bioplástico se diseñó la rueda estratégica del ecodiseño donde se determinó que la generación de bioplásticos a partir de procesos de almidón termoplásticos con base biológica, tienen un menor impacto ambiental que la generación de un plástico convencional, debido a que éste incorpora nuevas materias primas que hoy en día se consideran residuos y a su vez genera alternativas de reincorporación al sistema disminuyendo al mínimo los impactos ambientales por producto.

## 12. Referencia

- Abraham, A., Park, H., Choi, O., & Sang, B. I. (2021). Anaerobic co-digestion of bioplastics as a sustainable mode of waste management with improved energy production – A review. *Bioresource Technology*, 322(December 2020), 124537. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.124537>
- Al-Salem, S. M. (2019). 3 - Energy Production From Plastic Solid Waste (PSW). In S. M. B. T.-P. to E. Al-Salem (Ed.), *Plastics Design Library* (pp. 45–64). William Andrew Publishing. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813140-4.00003-0>
- Balaman, Ş. Y. (2019). *Chapter 1 - Introduction to Biomass—Resources, Production, Harvesting, Collection, and Storage* (Ş. Y. B. T.-D.-M. for B.-B. P. C. Balaman (ed.); pp. 1–23). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814278-3.00001-7>
- Biron, M. (2020). 3 - Metrics of Sustainability in Plastics: Indicators, Standards, Software. In M. B. T.-A. P. G. to P. S. Biron (Ed.), *Plastics Design Library* (pp. 85–111). William Andrew Publishing. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821539-5.00003-3>
- Chandra Mohan, C., Harini, K., Karthikeyan, S., Sudharsan, K., & Sukumar, M. (2018). Effect of film constituents and different processing conditions on the properties of starch based thermoplastic films. *International Journal of Biological Macromolecules*, 120, 2007–2016. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.09.161>
- Chapuel Tarapuez, A. Y., & Reyes Suárez, J. X. (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. [UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL]. In *Ayan* (Vol. 8, Issue 5). <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/39933/1/401-1355> - Obtenc pelicula biodegradable partir almidones semilla de aguacate.pdf
- Chil-Nunez, I., Molina-Bertran, S., Ortiz-Zamora, L., Dutok, C. M. S., & Souto, R. N. P. (2019). State of the Art of the specie Persea americana Mill (avocado). *Amazonia Investiga*, 8(21), 73–86. <https://amazoniainvestiga.info/index.php/amazonia/article/view/49>
- Corrales-Bernal, A., Maldonado, M. E., Urango, L. A., Franco, M. C., & Rojano, B. A. (2014). Sugar mango (*Mangifera indica*), variety from Colombia: Antioxidant, nutritional and sensorial characteristics. *Revista Chilena de Nutrición*, 41(3), 312–318. <https://doi.org/10.4067/S0717-75182014000300013>
- De, D., Naga Sai, M. S., Aniya, V., & Satyavathi, B. (2020). Strategic biorefinery platform for green valorization of agro-industrial residues: A sustainable approach towards biodegradable plastics. *Journal of Cleaner Production*, 290, 125184. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125184>
- El Haggag, S. M. (2005). *CHAPTER 13 - Rural and Developing Country Solutions* (F. J. Agardy & N. L. B. T.-E. S. Nemerow (eds.); pp. 313–400). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-012088441-4/50015-0>
- Encarnación, G., Ávila, A., Campos, A., & Solórzano, G. (2009). Estudio comparativo de bolsas de plástico degradables versus convencionales mediante la herramienta de Análisis de Ciclo de Vida. *Semarnat/Ine*, 56.
- FINAGRO. (2018). Ficha de inteligencia Aguacate. *FINAGRO*, 1, 1–14. [https://www.finagro.com.co/sites/default/files/node/basic-page/files/ficha\\_tabaco\\_version\\_ii.pdf](https://www.finagro.com.co/sites/default/files/node/basic-page/files/ficha_tabaco_version_ii.pdf)
- Godínez Cardoso, M. F., Juárez Green, S., Nieto Trespalacios, R. A., & Senties Paz, M. (2016). *Ciudad de México 19 de febrero de 2016* [Instituto Asunción de México]. <http://vinculacion.dgire.unam.mx/vinculacion-1/Memoria-Congreso-2016/trabajos-ciencias-biologicas/biologia/11.pdf>
- Gómez Luna, E., Navas, D. F., Aponte Mayor, G., & Betancourt Buitrago, L. A. (2017). Metodología para la revisión bibliográfica y la gestión de información de temas científicos, a través de su estructuración

- y sistematización. *Spine Journal*, 17(8), 1200. <https://doi.org/10.1016/j.spinee.2017.04.017>
- Hari Bhakta, S., Raja Vanapalli, K., VR Shankar, C., Ved Prakash, R., Amit Kumar, J., Brajesh, D., Sudha, G., & Jayanta, B. (2020). Challenges, opportunities, and innovations for effective solid waste management during and post COVID-19 pandemic. *ScienceDirect*, 162(May), 105052. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105052>
- ICONTEC. (2007). NORMA TECNICA COLOMBIA NTC-ISO14040. Gestión ambiental. Análisis de ciclo de vida. Principios y marco de referencia. *Icontec*, 2(571), 1–24. [http://files.control-ambiental5.webnode.com.co/200000127-a0991a28c5/NTC-ISO14040-2007 Analisis\\_CicloVida.pdf](http://files.control-ambiental5.webnode.com.co/200000127-a0991a28c5/NTC-ISO14040-2007 Analisis_CicloVida.pdf)
- Iyer, B. (2020). *Chapter 6 - Cooperatives and the sustainable development goals* (M. Altman, A. Jensen, A. Kurimoto, R. Tulus, Y. Dongre, & S. B. T.-W. the A. P. C.-O. P. Jang (eds.); pp. 59–70). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816666-6.00006-9>
- Jaén, M., Esteve, P., & Banos González, I. (2018). Los futuros maestros ante el problema de la contaminación de los mares por plásticos y el consumo. *Revista Eureka*, 13(3), 617–627. <https://doi.org/10.25267/Rev>
- Jaramillo, E. H. De, Henry, G., & Trigo, E. (2019). *La bioeconomía* (Primera ed). Pontificia Universidad Javeriana. <http://repositorio2.iica.int/bitstream/handle/11324/8366/BVE190403022e.pdf?sequence=1&isAllowed=y#page=133>
- Jaramillo, M., Ferrer, S., & Cárdenas, Y. (2018). Residuos de Mangifera indica, como materia prima para elaboración de biopolímeros. *CON-Ciencia y Técnica*, 1(2), 31–35. <http://revistas.sena.edu.co/index.php/conciencia/article/view/1957/2076>
- Jimenez, A., Florez, K., Mosquera, L., Mendoza, J., & Prada, G. (2018). Nuevas tendencias en envases y empaques plásticos. *VIII Congresso Brasileiro de Engenharia de Producao*, 1(1), 1–9. <https://www.siicex.gob.pe/siicex/documentosportal/alertas/documento/doc/150946945radEFB4B.pdf%0A>
- Karmakar, G. P. B. T.-R. M. in M. S. and M. E. (2020). *Regeneration and Recovery of Plastics*. Elsevier. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820352-1.00045-6>
- Naranjo Yáñez, M. A. (2019). *Determinación de la capacidad coagulante del extracto obtenido de la semilla de tamarindus indica en el tratamiento de lixiviados* [ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO]. <http://dspace.espoeh.edu.ec/bitstream/123456789/11134/1/236T0436.pdf>
- Nazario-Naveda, R., Gallozzo Cárdenas, M., Angelats Silva, L., Mantilla Sifuentes, F., Alayo Zavaleta, Y., Castillo Ramírez, A., Chavín Castillo, C., & Duran Zambrano, M. (2020). Reinforcement of mango seed starch based biodegradable films through incorporation of mango peel extracts for active packaging | Reforzamiento de películas biodegradables de almidón de semilla de mango mediante la incorporación de extracto de piel de mang. *Proceedings of the LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology*, 18(July 2020), 27–31. [http://laccei.org/LACCEI2020-VirtualEdition/full\\_papers/FP75.pdf](http://laccei.org/LACCEI2020-VirtualEdition/full_papers/FP75.pdf)
- Organización Naciones Unidas. (2015). *S-SDG-Icons-2019-WEB*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/news/communications-material/>
- Pérez Hernández, F. (2016). *Establecimiento de cultivo in vitro de Tamarindus indica L. para la obtención de antioxidantes*. [UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO]. <http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/65363>
- Preethi, Kavitha, S., Rajesh Banu, J., Arulazhagan, P., & Gunasekaran, M. (2020). *Chapter 17 - Environmental impacts and sustainability assessment of food loss and waste valorization: value chain analysis of food consumption* (J. R. Banu, G. Kumar, M. Gunasekaran, & S. B. T.-F. W. to V. R. Kavitha (eds.); pp. 359–388). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818353-3.00017-1>

- Pumalema Miranda, M. R. T. (2020). Caracterización de la goma obtenida de la Semilla de Tamarindo (*Tamarindus indica* L. [UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO]. In *Orphanet Journal of Rare Diseases* (Vol. 21, Issue 1). <http://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/31410/1/AL748.pdf>
- Ramos Niño, L. Lizeth, & Gómez Urrea, J. F. (2020). *ELABORADOS CON NEUMÁTICOS Y BIOPOLÍMERO PROVENIENTE DE LA SEMILLA DEL AGUACATE* " Laura Lizeth Ramos Niño Julián Felipe Gómez Urrea Universidad Santo Tomás Facultad de Mercadeo Bogotá. Universidad Santo Tomás.
- Roy, M. (2021). *Chapter 1 - Introduction to sustainable development* (M. B. T.-S. D. S. Roy (ed.); pp. 1–25). Butterworth-Heinemann. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818920-7.00005-0>
- Ruiloba, I., Li, M., Quintero, R., & Correa, J. (2018). Elaboración de bioplástico a partir de almidón de semillas de mango. *Revista de Iniciación Científica*, 4, 28–32. <https://doi.org/10.33412/rev-ric.v4.0.1815>
- Sarria Villa, R. A., & Gallo Corredor, J. A. (2016). La gran problemática ambiental de los residuos plásticos: Microplásticos. *Journal de Ciencia e Ingeniería*, 8(1), 21–27. <https://jci.uni autonom a.edu.co/2016/2016-3.pdf>
- Sumaya-Martínez, M., Medina-Carrillo, R., González-Ocegueda, E., Jiménez-Ruiz, E., Balois-Morales, R., Sánchez-Herrera, L., & López-Nahuatt, G. (2019). Mango (*Mangifera indica* L.) pulping byproducts: Antioxidant activity and bioactive compounds of three mango cultivars. *Revista Bio Ciencias*, 6(May). <https://doi.org/10.15741/revbio.06.e560>
- Ubaque Beltrán, C. A., Alfonso Morales, M. D., Hernández Pedraza, S. M., & Flóres Cárdenas, S. L. (2020). Utilización de residuos provenientes de la transformación de frutas para la elaboración de bioempaques. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699. <http://revistas.sena.edu.co/index.php/rnt/article/view/3516/3952>
- Ummalyma, S. B., Sahoo, D., & Pandey, A. (2020). *Chapter 12 - Microalgal Biorefineries for Industrial Products* (A. B. T.-M. C. for B. P. Yousuf (ed.); pp. 187–195). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817536-1.00012-6>
- Universidad de los Andes, Greenpeace Colombia, & MASP. (2019). Situación actual de Colombia y su impacto en el medio ambiente. *Greenpeace Colombia, Universidad de Los Andes*, 0, 14. [http://greenpeace.co/pdf/2019/gp\\_informe\\_plasticos\\_colombia\\_02.pdf](http://greenpeace.co/pdf/2019/gp_informe_plasticos_colombia_02.pdf)
- Vergara, J., Guarín, I., Álvares, J., & Camacho, O. (2017). Frutas de la región Caribe Colombiana con efectos benéficos para la salud: revisión. *Virtualpro*, 191(1), 1–27. <https://www.virtualpro.co/files-bv/20171201/20171201-007.pdf>
- Wang, J., Liang, Y., Zhang, Z., Ye, C., Chen, Y., Wei, P., Wang, Y., & Xia, Y. (2021). Thermoplastic starch plasticized by polymeric ionic liquid. *European Polymer Journal*, 148(December 2020), 110367. <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2021.110367>
- Xiang, F., Huang, Y. Yuan, Zhang, Z., & Zuo, Y. (2020). *Chapter 6 - Digital twin driven energy-aware green design* (F. Tao, A. Liu, T. Hu, & A. Y. C. B. T.-D. T. D. S. D. Nee (eds.); pp. 165–184). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818918-4.00006-3>
- Xu, F., Khalaf, A., Sheets, J., Ge, X., Keener, H., & Li, Y. (2018). *Chapter Three - Phosphorus Removal and Recovery From Anaerobic Digestion Residues* (Y. Li & X. B. T.-A. in B. Ge (eds.); Vol. 3, pp. 77–136). Elsevier. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/bs.aibe.2018.02.003>