



UNIVERSIDAD MICHOCANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO



FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

OBTENCIÓN DE BIOPELÍCULAS A PARTIR DEL HUESO DE AGUACATE

TESIS

Para obtener el grado de:

LICENCIADA EN INGENIERÍA QUÍMICA

Presenta la

P.I.Q. Maritza Adilenne Montañez Cervantes

Asesor de Tesis:

Dr. Agustín Jaime Castro Montoya

Co-asesora de Tesis:

Dra. Nancy Eloísa Rodríguez Olalde

Morelia, Michoacán, Marzo del 2020.

CONTENIDO

| | |
|--|------|
| DEDICATORIA | I |
| AGRADECIMIENTOS..... | II |
| LISTA DE TABLAS | III |
| LISTA DE FIGURAS | IV |
| ABREVIATURAS..... | V |
| GLOSARIO | VI |
| RESUMEN..... | VIII |
| ABSTRACT..... | IX |
| CAPÍTULO I: ASPECTOS GENERALES | |
| 1.1 Introducción..... | 2 |
| 1.2 Antecedentes | 4 |
| 1.3 Definición del problema..... | 6 |
| 1.4 Hipótesis | 7 |
| 1.5 Objetivos | 8 |
| 1.4.1 Objetivo general | 8 |
| 1.4.2 Objetivos específicos | 8 |
| 1.5 Justificación..... | 9 |
| CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO | |
| 2.1 Polímeros | 11 |
| 2.1.1 Definición de polímeros | 11 |
| 2.1.2 Historia | 11 |
| 2.1.3 Clasificación de los polímeros..... | 16 |
| 2.1.3.1 Clasificación de los polímeros según su origen | 16 |
| 2.1.3.1.1 Polímeros naturales..... | 16 |
| 2.1.3.1.2 Polímeros sintéticos..... | 17 |
| 2.1.3.1.3 Polímeros semisintéticos | 17 |
| 2.1.3.2 Clasificación de los polímeros según la unión de sus monómeros | 17 |
| 2.1.3.2.1 Homopolímeros..... | 17 |
| 2.1.3.2.2 Copolímeros..... | 17 |

| | |
|---|----|
| 2.1.3.2.2.1 Copolímeros de bloque..... | 18 |
| 2.1.3.2.2.2 Copolímeros de injerto..... | 18 |
| 2.1.3.3.3.3.3 Copolímeros al azar..... | 18 |
| 2.1.3.3 Clasificación de los polímeros de acuerdo a su estructura | 19 |
| 2.1.3.3.1 Polímeros lineales..... | 19 |
| 2.1.3.3.2 Polímeros ramificados | 19 |
| 2.1.3.3.3 Polímeros entrecruzados o entrelazados | 19 |
| 2.1.3.3.4 Polímeros reticulados o de red..... | 19 |
| 2.1.3.4 clasificación de los polímeros de acuerdo a sus propiedades mecánicas..... | 20 |
| 2.1.3.4.1 Elastómeros:..... | 20 |
| 2.1.3.4.2 Plásticos..... | 21 |
| 2.1.3.4.3 Resinas..... | 21 |
| 2.1.3.4.4 Fibras..... | 21 |
| 2.1.4 Procesos de polimerización..... | 21 |
| 2.1.4.1 Polimerización de condensación o de reacción por etapas | 22 |
| 2.1.4.2 Polimerización de adición o de reacción en cadena..... | 22 |
| 2.1.5 Termoplásticos y termoestables | 24 |
| 2.1.5.1 Materiales termoplásticos y termoestables..... | 25 |
| 2.1.5.2 Proceso de polimerización de los termoestables | 25 |
| 2.1.6 Peso molecular y distribución | 29 |
| 2.1.6.1 Grado de polimerización | 30 |
| 2.1.7 Cristalinidad del polímero | 31 |
| 2.1.7.1 Regularidad química..... | 31 |
| 2.1.7.2 Regularidad geométrica | 32 |
| 2.1.7.3 Regularidad espacial | 32 |
| 2.1.8 Algunos usos de los polímeros..... | 33 |
| 2.1.9 Problemática del plástico | 35 |
| 2.1.10 Reciclaje del plástico | 37 |
| 2.1.10.1 Reciclado interno y externo | 38 |
| 2.1.11 Bioplásticos | 39 |

| | |
|--|----|
| 2.1.11.1 Biodegradabilidad | 40 |
| 2.1.11.1.1 Factores que influyen en la biodegradación..... | 40 |
| 2.1.11.1.2 Ventajas de la biodegradabilidad | 41 |
| 2.1.11.2 Compostabilidad | 41 |
| 2.2 Almidón | 42 |
| 2.3 Plastificantes..... | 44 |
| 2.3.1 Clases de plastificantes | 44 |

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

| | |
|--|----|
| 3.1 Obtención del almidón..... | 46 |
| 3.1.1 Recolección de la materia prima..... | 46 |
| 3.1.2 Preparación de la materia prima..... | 46 |
| 3.1.3 Triturado..... | 47 |
| 3.1.4 Extracción del almidón..... | 48 |
| 3.1.5 Filtración..... | 48 |
| 3.1.6 Sedimentación y decantación..... | 50 |
| 3.1.7 Secado..... | 51 |
| 3.1.8 Triturado y tamizado..... | 52 |
| 3.2 Elaboración de las biopelículas..... | 54 |
| 3.3 Determinación del % de humedad del hueso de aguacate | 56 |
| 3.4 Determinación del % de humedad del biopolímero | 58 |
| 3.5 % de rendimiento del almidón | 58 |
| 3.6 Determinación de la densidad del biopolímero plástico..... | 59 |
| 3.7 Pruebas de biodegradabilidad | 59 |

CAPÍTULO IV CÁLCULOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

| | |
|---|----|
| 4.1 Cálculos..... | 61 |
| 4.1.1 Cálculo del % de humedad del hueso de aguacate | 61 |
| 4.1.2 Determinación del % de humedad del biopolímero plástico | 62 |
| 4.1.3 % del rendimiento del almidón..... | 63 |
| 4.1.4 Determinación de la densidad de biopolímero plástico | 64 |
| 4.1.5 Tiempo tardado del biopolímero en degradarse | 65 |
| 4.2 Discusión de resultados | 66 |

CAPÍTULO V CONCLUSIONES

5.1 CONCLUSIONES..... 69

CAPÍTULO VI REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

6.1 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS 71

DEDICATORIA

Dedico mi tesis a mi familia, en especial a mis padres porque con su entrega, dedicación y esfuerzo han hecho de mí una persona entregada, fuerte, firme y que siempre lucha por lograr sus metas; por ayudarme a creer que puedo lograr lo que me proponga y enseñarme a luchar por ello, porque han estado conmigo en los buenos y malos momentos dándome su comprensión y apoyo; porque son la base de todos mis logros, por darme la oportunidad de tener una carrera profesional.

Maritza Adilene Montañez Cervantes

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por permitirme vivir y gozar de buena salud, por siempre brindarme los medios necesarios para salir adelante, por ponerme en los lugares correctos y en los momentos adecuados; por darme sabiduría, fuerza y fe en este largo camino llamado vida, por darme el mejor apoyo que es mi familia y una gran compañía que han sido mis amigos.

A mis padres Rosalba y Manuel por aguantar tantos desvelos, por siempre sacrificar parte de su vida para la realización de mis metas y sueños, por cada esfuerzo que han dado en beneficio de sus hijos, sacrificios que reflejan su amor incondicional, por siempre guiarme por un buen camino de la mano de Dios y hacer de mí una persona dedicada, fuerte, inteligente, aguerrida, disciplinada, de principios y buenos valores, por brindarme su comprensión y confianza ante cada decisión que he tomado en mi vida, por creer en mí y siempre estar a mi lado, por lo que tienen toda mi admiración y confianza.

Agradezco a mi hermano Manuel por su compañía y todos esos buenos y malos momentos que hemos vivido juntos, porque a pesar de todo siempre ha estado ahí para apoyarme, cuidarme y brindarme su amor de una forma que solo él tiene, por enseñarme que dos son mejor que uno.

A mi familia, en especial a mi abuelita María de la Luz, a mis tías Marbella y Alejandra y a mi prima Valeria porque con su apoyo incondicional me han demostrado que ante cualquier dificultad siempre estarán ahí brindándome su confianza, motivación, cariño y comprensión, además de siempre ponerme en manos de Dios con sus oraciones.

Agradezco a mis amigos y compañeros por todos esos momentos divertidos que hacían más amenos los días de estudio, de exámenes o de estrés, porque siempre que necesite apoyo ya fuera académico o personal estuvieron ahí, por siempre estar al pendiente de mi bienestar mental, emocional o físico.

A mi asesor el Dr. Agustín y a mi coasesora la Dra. Nancy por brindarme su confianza, así como su apoyo, disponibilidad y herramientas necesarias para la realización de este proyecto estando ahí cada vez que los necesite.

Agradezco a la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, así como a la Facultad de Ingeniería Química y a mis profesores que día con día fueron formando mi vida profesional brindándome conocimientos, ética, valores, fuerza y disciplina.

Por último, quiero agradecer a todos los que me brindaron su apoyo para la realización de este proyecto de investigación.

Maritza Adilenne Montañez Cervantes

LISTA DE TABLAS

| | Pág. |
|--|------|
| Tabla 1: Cronología del desarrollo de los polímeros..... | 14 |
| Tabla 2: Clasificación de los polímeros naturales según su origen..... | 16 |
| Tabla 3: Polímeros de adición de uso frecuente..... | 23 |
| Tabla 4: Polímeros de condensación de uso frecuente..... | 24 |
| Tabla 5: Marcas, características y típicas aplicaciones de algunos materiales plásticos..... | 26 |
| Tabla 6: Efecto del tamaño de la molécula sobre su estado de agregación..... | 29 |
| Tabla 7: Símbolo, nombre y aplicaciones de algunos polímeros..... | 38 |
| Tabla 8: Resultados del % de Humedad del hueso de aguacate..... | 61 |
| Tabla 9: Resultados del % de Humedad del biopolímero plástico..... | 62 |
| Tabla 10: Resultados del % de Rendimiento del almidón..... | 63 |
| Tabla 11: Resultados de la determinación de la densidad del biopolímero plástico..... | 64 |
| Tabla 12: Densidad de los polímeros más comerciales..... | 66 |

LISTA DE FIGURAS

| | Pág. |
|---|------|
| Figura 1: Formación de Homopolímeros..... | 17 |
| Figura 2: Tipos de copolímeros..... | 18 |
| Figura 3: Ilustración esquemática de cadenas de polímero..... | 20 |
| Figura 4: Efecto del peso molecular y del grado de polimerización sobre la resistencia y viscosidad de los polímeros..... | 30 |
| Figura 5: Hueso de aguacate..... | 46 |
| Figura 6: Hueso de aguacate en trozos..... | 46 |
| Figura 7: Triturado del hueso de aguacate..... | 47 |
| Figuras 8 y 9: Hueso de aguacate triturado..... | 47 |
| Figura 10: Reposo de la muestra en agua para la extracción del almidón..... | 48 |
| Figuras 11, 12, 13 y 14: Proceso de filtrado..... | 49 |
| Figura 15: Bagazo resultante de la filtración..... | 49 |
| Figura 16: solución filtrada proveniente del hueso de aguacate..... | 50 |
| Figura 17: Agua resultante de la decantación..... | 50 |
| Figura 18: Precipitado en el que se puede encontrar el almidón..... | 51 |
| Figuras 19 y 20: Precipitado seco..... | 51 |
| Figura 20: precipitado seco con las capas separadas..... | 52 |
| Figuras 21 y 22: Triturado de la muestra..... | 52 |
| Figuras 23 y 24: Tamizado de la muestra..... | 53 |
| Figura 25: Disolución del almidón..... | 54 |
| Figura 26: Glicerol..... | 55 |
| Figuras 27 y 28: Formación de las biopelículas..... | 55 |
| Figura 29: Muestras de hueso de aguacate para determinación de la humedad..... | 56 |
| Figura 30: Muestras de hueso de aguacate en el desecador para la determinación de humedad..... | 57 |
| Figura 31: Pesado de muestras para determinación de la humedad del hueso de aguacate... | 57 |

ABREVIATURAS

PE: Polietileno

PET: Politereftalato de etileno

pH: Potencial de concentración de iones hidrógenos $[H]^+$

PHA: Polihidroxicanoatos

PLA: Ácido poliláctico

PP: Polipropileno

PS: Poliestireno

PVC: Policloruro de vinilo

POE: Poli(óxido de etileno)

GLOSARIO

Biodegradable: Producto o sustancia que puede descomponerse en los elementos químicos que lo conforman, debido a la acción de agentes biológicos, como plantas, animales, microorganismos y hongos, bajo condiciones ambientales naturales.

Biomasa: Cantidad de productos obtenidos por fotosíntesis, susceptibles de ser transformados en combustible útil para el hombre y expresada en unidades de superficie y de volumen.

Bioplástico: También llamados plásticos orgánicos. Son una forma de plásticos derivados de fuentes renovables de biomasa, como el aceite vegetal, el almidón de maíz, el almidón de guisantes o microbiota, en lugar de plástico de los combustibles fósiles, que son derivados del petróleo.

Biopolímeros: Sustancias poliméricas naturales. Son especies químicas de alto peso molecular, gran tamaño y forma predominantemente alargada.

Calafateado: Impermeabilizar o cubrir las juntas de una cosa con estopa o brea.

Compostable: Material que se degrada biológicamente produciendo dióxido de carbono, agua, compuestos inorgánicos y biomasa a la misma velocidad que el resto de materia orgánica que se está compostando con éste, sin dejar residuos tóxicos visibles o distinguibles.

Extrusión: Proceso utilizado para crear objetos con sección transversal definida y fija, en donde el material se empuja o se extrae a través de un troquel de una sección transversal deseada.

Fuentes renovables: Son aquellas que, tras ser utilizadas, se pueden regenerar de manera natural o artificial.

Homogéneo: Material formado por elementos con características comunes referidas a su clase o naturaleza, lo que permite establecer entre ellos una relación de semejanza y uniformidad.

Impermeable: Material que no permite el paso de la humedad, el agua u otro líquido.

Incineración: Combustión completa de la materia orgánica hasta su conversión en ceniza, usada en el tratamiento de basuras: residuos sólidos urbanos, industriales peligrosos y hospitalarios, entre otros.

Inyección: Procedimiento de moldeo de una materia plástica que consiste en la fusión previa del material que después se inyecta dentro de un molde.

Microplásticos: Fragmentos plásticos de menos de cinco milímetros.

Monómero: Molécula simple, generalmente de peso molecular bajo, que forma cadenas lineales o ramificadas de dos, tres o más unidades.

Polimerización: Proceso mediante el cual las moléculas simples, iguales o diferentes, reaccionan entre sí por adición o condensación y forman otras moléculas de peso doble, triple, etc.

Polímero: Macromoléculas formadas por la unión mediante enlaces covalentes de una o más unidades simples llamadas monómeros repetidas a lo largo de una cadena.

Propiedades físicas: Son aquellas que se pueden medir, sin que se afecte la composición o identidad de la sustancia.

Propiedades químicas: Se observan cuando una sustancia sufre un cambio químico, es decir, en su estructura interna, transformándose en otra sustancia, dichos cambios químicos, son generalmente irreversibles.

Reacción química: Proceso químico en el cual dos sustancias o más, denominados reactivos, por la acción de un factor energético, se convierten en otras sustancias designadas como productos.

Reactivos: Es aquella sustancia que interacciona con otra a instancias de una reacción química y de ello resultan otras sustancias que ostentarán propiedades, características y formaciones diferentes que pasarán a ser denominados como productos o productos de una reacción.

Reciclable: Material o producto que se puede reciclar.

Reciclar: Someter a los materiales usados o desperdicios a un proceso de transformación o aprovechamiento para que puedan ser nuevamente utilizados.

Rizomas: Tallos subterráneos desprovistos de hojas, pero pueden poseer catafilos en forma de membranas escamosas.

Soplado: Proceso utilizado para fabricar piezas de plástico huecas gracias a la expansión del material.

Termoplásticos: Es un plástico que, a temperaturas relativamente altas se vuelve deformable o flexible, se derrite cuando se calienta y se endurece en un estado de transición vítrea cuando se enfría lo suficiente.

RESUMEN

En las últimas décadas el uso de plásticos derivados del petróleo se ha incrementado ya que pueden utilizarse para fabricar muchos de los productos que consumimos en nuestra vida diaria, el problema radica en que muchos de esos productos son de un solo uso y en México aún no se tiene el buen hábito de reutilizar y reciclar, lo que incrementa la producción de basura y con ello la contaminación ambiental, aunado a ello su larga existencia hace que perduren en el medioambiente durante largos periodos de tiempo, en los que pueden causar grandes daños irreversibles ya que no pueden descomponerse por sí mismos y se necesita una alta energía de rayos ultravioleta para acabar con ellos, agravando el problema la cantidad de plástico que se desperdicia en los océanos está aumentando considerablemente en los últimos años. Debido a lo anterior se han buscado nuevas alternativas que sustituyan dichos polímeros.

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo la obtención de un polímero plástico biodegradable a partir del almidón del hueso de aguacate, como alternativa de solución al problema de contaminación hacia el medioambiente que se genera con el uso de plástico obtenido a base de hidrocarburos.

El hueso de aguacate se obtuvo de un negocio de comida japonesa llamado "King Roll" ubicado en la ciudad de Morelia, Michoacán, en donde se desechaba como basura. En esta investigación se plantea un proceso en el que se extrae almidón del hueso de aguacate, al que se le realiza un proceso de polimerización con glicerina y agua como plastificantes y ácido acético como conservante para obtener una biopelícula plástica.

Biopolímeros; Bioplásticos; Almidón; Plastificantes; Biodegradable

ABSTRACT

In recent decades the use of petroleum-derived plastics has been increasing as they can be used to manufacture many of the products we consume in our daily lives, the problem is that many of these products are for single use and in Mexico you still do not have the good habit of reusing and recycling, which increases the production of garbage and with it environmental pollution, in addition to this, their long existence causes them to last in the environment for long periods of time, in which they can cause great irreversible damage because they cannot decompose on their own and a high energy of ultraviolet rays is needed to end them, compounding the problem, the amount of plastic that is wasted in the oceans has increased considerably in recent years. Due to the above, new alternatives have been sought to replace these polymers.

This research paper aims to obtain a biodegradable plastic polymer from avocado bone starch, as an alternative to the problem of environmental pollution that is generated by the use of plastic obtained from hydrocarbons.

The avocado bone was obtained from a Japanese food business called "King Roll" located in the city of Morelia, Michoacán, where it was discarded as garbage. This research proposes a process in which starch is extracted from the avocado bone, subsequently a polymerization process is performed with glycerin and water as plasticizers to obtain a plastic biofilm.

CAPÍTULO 1:

ASPECTOS GENERALES

INTRODUCCIÓN

En México, los plásticos comenzaron a generarse en la década de los 30 del siglo pasado, pero fue hasta a mediados de la década de los 50 que su uso empezó a permear en todos los ámbitos de nuestra vida, teniendo un impacto tan grande que para la década de los años 80 su consumo ya había sustituido al de otros materiales como el cartón, el papel, las fibras naturales y el metal, gracias a su bajo costo, ligereza, resistencia, inalterabilidad a los agentes atmosféricos, versatilidad, aislantes de la corriente eléctrica, durabilidad y transparencia. Además, el efecto de los plásticos en una economía es fundamental, un consumidor promedio usa diversos productos plásticos de manera cotidiana, ya sea para consumo personal o para actividades productivas.

Los plásticos convencionales se producen a partir de reservas fósiles de energía como el petróleo. Estos polímeros perduran en la naturaleza por largos periodos de tiempo, es por ello que actualmente los plásticos representan un riesgo ambiental debido a las malas prácticas de disposición final, ya que pueden ser no reciclables o biodegradables y su incineración afecta en gran medida a la capa de ozono y al medioambiente en general, lo que ha llevado a promover la disminución del uso de algunos de sus derivados como las bolsas de plástico o los popotes, por otro lado, también se ha impulsado la producción de productos químicos a partir de materias primas basadas en fuentes renovables.

A lo largo de cientos de años se han utilizado polímeros naturales procedentes de plantas y animales. Estos materiales incluyen madera, caucho, lana, cuero y seda. Otros polímeros naturales son las proteínas, las enzimas, los almidones y la celulosa, las cuales tienen importancia en los procesos bioquímicos y fisiológicos de plantas y animales.

Los biopolímeros son plásticos, que se producen por fermentación bacteriana. La mayoría de los biopolímeros son biodegradables, impermeables, homogéneos, resistentes a los agentes químicos y tienen propiedades muy similares a la de los plásticos convencionales. Estos materiales pueden procesarse mediante las mismas tecnologías que los materiales termoplásticos convencionales, tales como extrusión, inyección y soplado y es por ello que son considerados una excelente alternativa ambiental y económica para la sustitución de los plásticos convencionales.

El término “plástico” proviene del latín *plasticus* y este del griego *plastikos* que significa “moldeable”. El plástico está compuesto por largas cadenas de moléculas de gran tamaño denominadas polímeros, que experimentan el proceso químico de polimerización, y se obtiene de derivados químicos del petróleo y del gas natural.

Los plásticos se pueden dividir en tres categorías generales:

- **Plásticos naturales:** Aquellos productos de la naturaleza que pueden ser moldeados mediante calor, por ejemplo, algunas resinas de árboles.
- **Plásticos semisintéticos:** Aquéllos que se derivan de productos naturales y que han sido modificados o alterados mediante la mezcla con otros materiales.
- **Plásticos sintéticos:** Aquéllos derivados de alterar la estructura molecular de materiales a base de carbono (petróleo crudo, carbón o gas).

Por otro lado, los biopolímeros están generando un gran interés en la sociedad y a nivel industrial ya que suponen una solución al creciente problema ambiental derivado del plástico fósil.

Los biopolímeros se pueden dividir en tres categorías:

- **Biopolímeros extraídos directamente de la biomasa:** En este grupo se encuentran la celulosa y el almidón.
- **Biopolímeros obtenidos a partir de monómeros bio-derivados:** En este grupo se encuentran los aceites vegetales y el ácido láctico.
- **Biopolímeros sintetizados por microorganismos:** En este grupo de encuentran los del tipo Polihidrixialcanoatos (PHA).

La presente investigación se centra en la obtención de biopolímeros a partir del almidón, ya que después de la celulosa, el almidón es el carbohidrato de mayor abundancia en la naturaleza, es una de las principales reservas de energía en las plantas y es el carbohidrato más importante en la actividad humana por su función alimenticia y por sus múltiples aplicaciones en la industria y el comercio. Los almidones se presentan como reservas de carbohidratos en tubérculos, tales como: la papa, en los granos de semillas, en las frutas y en los rizomas de las plantas, por lo que su obtención es sencilla y económica.

ANTECEDENTES

“Obtención de un polímero biodegradable a partir de almidón de maíz.”

Alma Verónica García Quiñonez, El Salvador, 2015.

RESUMEN: En este proyecto de investigación se plantea un método de obtención a nivel laboratorio de un polímero biodegradable a partir del almidón de maíz, al que se le realiza un proceso de polimerización con agua y glicerina como plastificantes y ácido acético como modificador químico de acuerdo a las siguientes cantidades: 10 g de almidón de maíz, 5 mL de ácido acético y 3 mL de glicerina; al biopolímero resultante se le realizaron distintas pruebas físicas y mecánicas tales como pruebas de resistencia a la tracción, de espesor del bioplástico, así como del tiempo de degradación del polímero el cual es de aproximadamente 3 meses. Cabe mencionar que en este proyecto se utilizó maíz ya que es un recurso natural renovable y en el Salvador muchas veces es considerado un desecho.

“Obtención de un biopolímero plástico a partir de almidón de malanga (colocasía esculenta), en el laboratorio 110 de la UNAN.”

Abigail de los Ángeles Rosales, Nicaragua, 2016.

RESUMEN: Esta investigación consistió en el desarrollo un biopolímero plástico a partir del almidón de malanga (colocasía esculenta), por el método de polimerización por condensación. De acuerdo a las siguientes cantidades: 10 g de almidón, 100 mL de agua destilada, 10 mL de glicerina como plastificantes y 15 mL de ácido acético 0.1M como modificador químico. Al biopolímero resultante se le realizaron análisis de dureza, humedad, densidad y biodegradabilidad; dando como resultado una dureza muy baja comparada con la del resto de los plásticos; en cuanto a la densidad el resultado fue comparado a la del polietileno; el rendimiento del almidón fue muy bajo, es decir un 22.6% y el tiempo de degradabilidad del biopolímero fue de alrededor de 2 meses, lo que lo hace apto para muy pocas aplicaciones útiles.

**“Desarrollo de biopolímeros a partir de almidón de corteza de yuca (Manihot esculenta)”
María José Valarezo Ulloa, Ecuador, 2012.**

En esta investigación se plantea el desarrollo de un biopolímero plástico a partir del almidón obtenido de la corteza de yuca, al cual se le realiza un proceso de polimerización con glicerina y agua como plastificantes y ácido acético como modificador químico en los siguientes porcentajes: 19.36% de almidón, 6.31% de glicerina, 74.08% de agua y 0.25% de ácido acético. Al biopolímero resultante se le realizaron distintas pruebas fisicoquímicas y mecánicas dando como resultado una densidad de 6.44 g/cm^3 y un tiempo de degradabilidad de alrededor de 3 meses. De acuerdo a las pruebas realizadas se determina que el biopolímero es un material resistente, flexible y elástico, con características similares a la de los plásticos, por lo que lo hace útil para varias aplicaciones como el reemplazo de algunos objetos plásticos de un solo uso (bolsas y vasos desechables).

DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Debido a que los plásticos se obtienen de compuestos a base del petróleo son productos que para su total eliminación requieren que pasen largos periodos de tiempo, aunado a ello, no se cuentan con buenas prácticas ambientales como pudieran ser el reciclar, el reutilizar y reducir su uso.

Agravando el problema ambiental se tiene que el uso del plástico se ha extendido a pesar de que en muchas ocasiones son materiales de un solo uso como es el caso de empaques para comida, vasos, platos, popotes y cubiertos desechables por mencionar algunos, aumentando así la producción de basura plástica.

En México la basura plástica es la que más ha crecido: pasó de 1.38 millones de toneladas en 2014 a 4.58 millones en 2012, con un aumento de 232 por ciento. En el mundo se generan al año 300 millones de toneladas de estos desechos, alrededor de 13 millones de toneladas de plástico son vertidas en los océanos cada año, lo que representa entre el 60 y el 80 por ciento de los residuos marinos, según indican datos de ONU ambiente.

El problema real radica en el tiempo que este material tarda en degradarse: una botella se puede llevar 500 años, los cubiertos 400 años, los popotes 100 años, un vaso entre 65 y 75 años y una bolsa 55 años.

Debido a lo ya mencionado, este proyecto de investigación tiene como finalidad proponer una alternativa de solución para la reducción del problema ambiental generado por la basura plástica fósil con la obtención de un biopolímero a base de almidón de hueso de aguacate con características similares a la de los plásticos convencionales, con la ventaja de ser biodegradable y compostable.

HIPOTESIS

Se obtendrá almidón del hueso de aguacate variando las condiciones de proceso y metodología para alcanzar el máximo rendimiento y la mejor rentabilidad, a partir de dicho almidón se obtendrá un polímero biodegradable y compostable con características similares a la de los plásticos convencionales que cumpla con los requisitos para ser utilizado como material de empaque con la ventaja de tener un impacto ambiental prácticamente nulo reduciendo así el problema de basura que nos asecha.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL:

Obtener almidón del hueso de aguacate para posteriormente desarrollar una biopelícula plástica con propiedades similares a la de los plásticos convencionales que funcione como alternativa al uso de los mismos y así disminuir el problema ambiental causado por las malas prácticas de eliminación generadas.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Utilizar un producto considerado hasta este momento como “basura orgánica”, tal como lo es el hueso de aguacate para generar un producto que puede ser útil para la sociedad y el medioambiente.
- Determinar el mejor método de obtención del almidón; es decir el que presente el mejor rendimiento.
- Obtener un proceso de obtención de la biopelícula a nivel laboratorio que llegue a ser rentable para ser llevado a la industria.

JUSTIFICACIÓN

La presente investigación tiene como objetivo aportar otra fuente de obtención de almidón para la formación de biopelículas plásticas como alternativa de solución al problema ambiental generado por la basura creada por plástico convencional, ya que en la mayoría de las investigaciones escritas el almidón se obtiene a base de alimentos, lo que incrementa su costo de producción debido a que se requiere la compra de materia prima y, siendo Michoacán el principal estado productor de aguacate en México la obtención del hueso de esta fruta resulta bastante fácil y económica.

Por otro lado, el procedimiento descrito en el documento pretende reducir costos y aumentar la productividad para que el bioplástico resultante pueda ser llevado a nivel industrial para la fabricación de bolsas, empaques de alimentos o cualquier producto al que se considera de un solo uso. El biopolímero obtenido al ser biodegradable y compostable puede descomponerse y servir como fertilizante, reduciendo así la basura plástica creada por el uso de este tipo de productos.

CAPÍTULO 2:
MARCO TEÓRICO

2.1 POLÍMEROS:

2.1.1 DEFINICIÓN DE POLÍMEROS:

Los polímeros son macromoléculas formadas por la unión repetida de una o varias moléculas unidas por enlaces covalentes [4]. En algunos casos la repetición es lineal, en otros casos las cadenas son ramificadas o interconectadas formando retículos tridimensionales [2].

Dependiendo de su origen, los polímeros pueden ser naturales o sintéticos. Los polímeros sintéticos contienen entre uno y tres tipos diferentes de unidades que se repiten, mientras que los naturales o biopolímeros presentan estructuras mucho más complejas.

Las moléculas que se combinan para formar polímeros se denominan monómeros y las reacciones a través de las cuales se obtienen se conocen como reacciones de polimerización. Cuando se parte de un único tipo de molécula se habla de homopolimerización y de homopolímero. Cuando son dos o más moléculas diferentes las que se repiten en la cadena se habla de polimerización, monómeros y copolímeros [4].

La longitud de la cadena del polímero viene especificada por el número de unidades que se repiten en la cadena, al que se le llama grado de polimerización [2].

Cabe mencionar que, aunque la palabra “plásticos” se emplea de manera común como sinónimo de “polímeros”, los plásticos son uno de los numerosos materiales poliméricos que podemos encontrar en la actualidad [13].

2.1.2 HISTORIA:

Desde la antigüedad, el hombre ha utilizado polímeros naturales en múltiples aplicaciones [15]. La palabra polímero se utilizó por primera vez en 1866. Los primeros polímeros se fabricaron de materiales orgánicos naturales provenientes de productos animales y vegetales; el ejemplo más común es la celulosa. El primer polímero sintético fue un fenol formaldehído, un termoestable desarrollado en 1906 llamado baquelita por L. H. Baekeland (1863-1944) [13].

La necesidad de obtener nuevos tipos de materiales condujo al desarrollo de los primeros polímeros sintéticos. Estos se fabricaron inicialmente a escala industrial, sin haber sido estudiados previamente. De esta forma se realizaron numerosos descubrimientos empíricos antes de que se desarrollase la ciencia de los polímeros. Así, Charles y Nelson Goodyear transformaron el caucho en un elastómero termoestable de utilidad (caucho vulcanizado) o en un plástico duro termoestable (ebonita), incluso antes de que Kekulé desarrollase la técnica de formulación de compuestos orgánicos [15].

El ámbar, el asta natural, la goma laca y la gutapercha son los precursores de los polímeros actuales. En la naturaleza, encontramos al ámbar como una resina de coníferas que, tras derramarse del árbol, endureció y atrapó en su interior a insectos o plantas [13].

Los hombres primitivos emplearon técnicas rudimentarias de plásticos para curtir las proteínas de las pieles animales para hacer cuero y para modelar caparazones de tortugas mediante calor, también se utilizaron alquitranes de origen natural como materiales de calafateado así como lacas extraídas a partir de excrementos de un pequeño insecto llamado cochinilla (*Coccus lacca*) [14].

Los egipcios en el año 2000 a.C, en la época de los faraones, además de usar resinas naturales para embalsamar a sus muertos también usaban el asta natural calentándolo para moldear figuras y recipientes; también tuvo sus aplicaciones en Europa durante el medievo, los trabajadores del cuerno (asteros) realizaban objetos cotidianos con este material, como cucharas, peines o faroles. La goma Laca es un polímero producido por las secreciones de la hembra de la chinche lac, originaria de la India y el sudeste de Asia. Esta secreción se disuelve en alcohol, y se puede aplicar sobre superficies produciendo un recubrimiento brillante, impermeable y casi transparente. La gutapercha es una goma vegetal que se extraía por sangrado al practicar incisiones a determinados árboles en las Indias orientales y en Indonesia. Los indígenas la utilizan para recubrir objetos y recipientes [13].

En la antigua Grecia se clasificaba todo material como animal, vegetal o mineral. Los alquimistas dieron mucha importancia a los minerales, mientras que los artesanos medievales se la daban a los materiales vegetales y animales. Todos son en su mayoría polímeros y son importantes para la vida tal y como la conocemos. Las primeras civilizaciones sudamericanas como la

Azteca utilizaban caucho (*Hevea brasiliensis*) para fabricar artículos elásticos o impermeabilizar tejidos [14].

Inicialmente los objetivos de la química de los polímeros sintéticos consistían en la imitación de polímeros naturales de importancia comercial [10]. Antes de la Primera Guerra Mundial, se encontraban a disposición del público una gran variedad de plásticos, como el celuloide, la laca, la baquelita, el Galalith (caseína), la baquelita, el acetato de celulosa y el caucho de la hevea; fibras como el algodón, la lana, la seda y el rayón; y resinas como los recubrimientos de poliéster denominados gliptales, el asfalto o bitumen, las resinas de cumarona-indeno y las resinas de petróleo. No obstante, como demuestra la evidencia cronológica de la tabla 1, se produjeron pocos desarrollos adicionales en la tecnología de los polímeros antes de la Segunda Guerra mundial debido a la falta de conocimiento de la ciencia de los polímeros. [15].

Desde que ayudó a los aliados a ganar la segunda guerra mundial con los paracaídas de nailon o las piezas ligeras de los aviones, los plásticos nos han cambiado la vida como pocos inventos. Han facilitado los viajes al espacio y revolucionado la medicina. Aligeran los coches y los aviones, ahorrando en combustible y reduciendo la contaminación. En forma de envoltorios ligeros se adhieren a los alimentos y alargan su duración. En airbags, incubadoras, cascos o simplemente llevando agua potable en botellas desechables el plástico salva vidas a diario [7].

La baquelita, sintetizada por Leo Baekeland mediante cantidades controladas de fenol y formaldehído, se considera como el primer polímero realmente sintético en ser comercializado, cuya producción se inició en 1910 [15].

En 1920, el premio Nobel Hermann Staudinger estableció las bases de la ciencia moderna de los polímeros, al demostrar que los polímeros naturales y sintéticos no eran agregados, sino moléculas de cadena larga con grupos terminales característicos e introdujo el concepto de macromoléculas para describir los polímeros [15]. Staudinger propuso fórmulas de cadenas largas para el poliestireno, el caucho y el polioximetileno, comprobando su teoría con las mediciones de los pesos moleculares y con estudios de rayos X. Más tarde en 1925 Staudinger sugirió que no eran necesarios grupos terminales para saturar las valencias terminales de las cadenas largas; se las consideraba no reactivas debido al tamaño de las moléculas. En 1928, Staudinger fue de los primeros en reconocer el gran tamaño de las moléculas de polímero [2].

Esta hipótesis fue posteriormente corroborada por Herman Mark y Kurt Meyer, mediante el estudio cristalográfico de la celulosa y el caucho natural. Así como por el trabajo de Wallace Carothers en la preparación de poliésteres y poliamidas, estas últimas conocidas con el nombre genérico de nilones [15].

A partir de lo anterior empezó el desarrollo de la tecnología de los plásticos modernos cuando se empezaron a extraer las materias primas necesarias para la fabricación de los polímeros del carbón y de los productos del petróleo. El etileno fue el ejemplo de tal materia prima y se convirtió en el bloque constructivo para el polietileno [13].

Flory en 1937 elucidó el mecanismo de la polimerización por reacción en cadena. La presencia y naturaleza de los grupos terminales ha sido investigada desde entonces por métodos químicos (Price 1942, Joyce 1948, Bevington 1954) [2].

Tabla 1: Cronología del desarrollo de los polímeros.

| FECHA | MATERIAL |
|---------------|--|
| Antes de 1800 | Algodón, lino, seda, vidrio y cementos hidráulicos, celulosa en láminas (papel), caucho natural y lana |
| 1839 | Vulcanización del caucho (Charles Goodyear) |
| 1846 | Nitración de la celulosa (Shombein) |
| 1851 | Ebonita (caucho duro; Nelson Goodyear) |
| 1860 | Moldeado de laca |
| 1868 | Celuloide (Nitrato de celulosa plastificada; Hyatt) |
| 1889 | Películas fotográficas de nitrado de |
| 1890 | Fibras de rayón cupramonio (Despeisses) |
| 1892 | Fibras de rayón viscosas (Cro, Bevan y Beadle) |
| 1907 | Soluciones de acetato de celulosa |
| 1907 | Resinas de fenol-formaldehído (Baquelita; Baekeland) |
| 1908 | Películas fotográficas de acetato de celulosa |
| 1912 | Láminas de celulosa regenerada (celofán) |
| 1920 | Presentación de hipótesis macromolecular (Staudinger) |
| 1924 | Fibras de acetato de celulosa |
| 1926 | Poliéster alquídico (Kienle) |
| 1927 | Recubrimientos de cloruro de polivinilo para paredes |
| 1927 | Barras y láminas de acetato de celulosa |

| | |
|------|--|
| 1929 | Elastómero sintético de polisulfuro |
| 1929 | Resinas de urea-formaldehído |
| 1931 | Plásticos de polimetacrilato de metilo |
| 1931 | Elastómeros de polipropileno |
| 1935 | Etilcelulosa |
| 1936 | Acetato de polivinilo |
| 1937 | Poliestireno |
| 1937 | Elastómeros copolímeros de estireno-butadieno y estireno-acrilonitrilo |
| 1938 | Fibras de nilón-66 (Carothers) |
| 1939 | Resinas de melamina-formaldehído |
| 1940 | Elastómeros de isobutileno-isopreno (butil caucho: Sparks y Thomas) |
| 1941 | Polietileno de baja densidad (LDPE) |
| 1942 | Poliésteres insaturados (Ellis y Rust) |
| 1943 | Resinas fluorocarbonadas (Teflón; Plunkett) |
| 1943 | Siliconas |
| 1943 | Poliuretanos (Baeyer) |
| 1947 | Resinas Epoxi |
| 1948 | Copolímeros de acrilonitrilo, butadieno y estireno (ABS) |
| 1950 | Fibras de poliéster (Whinfield y Dickson) |
| 1950 | Fibras de poliacrilonitrilo |
| 1956 | Polioximetileno (acetales) |
| 1957 | Polietileno (lineal) de alta densidad (HDPE) |
| 1957 | Polipropileno |
| 1957 | Policarbonato |
| 1959 | Elastómeros de polibutadieno-cis y poliisopreno-cis |
| 1960 | Elastómeros copolímeros de etileno-propileno |
| 1962 | Resinas de poliimida |
| 1964 | Poli(óxido de fenileno) |
| 1965 | Polisulfona |
| 1965 | Copolímeros de bloque estireno-butadieno |
| 1970 | Politereftalato de butileno |
| 1971 | Sulfuro de butileno |
| 1973 | Polimidas segunda generación |
| 1974 | Bismaleimidas, poliamidas aromáticas |
| 1976 | Polifenilsulfona (RADEL) |

2.1.3 CLASIFICACIÓN DE LOS POLÍMEROS:

Aunque la palabra “plásticos” se emplea de manera común como sinónimo de “polímeros”, los plásticos son uno de los numerosos materiales poliméricos. Los productos de consumo e industriales fabricados de polímeros incluyen recipientes para alimentos y bebidas, empaques, anuncios, artículos domésticos, textiles, material médico, espumas, pinturas, blindajes de seguridad, juguetes, aparatos domésticos, lentes, engranes, productos electrónicos y eléctricos y carrocerías y partes automotrices [13].

2.1.3.1 Clasificación de los polímeros según su origen:

Según su origen los polímeros pueden clasificarse en naturales y sintéticos:

2.1.3.1.1 Polímeros naturales:

Una de las áreas de la ciencia de los polímeros más importante es la de los polímeros naturales. Una de las razones es que los polímeros son renovables, ya que la naturaleza puede seguir sintetizándolos a medida que se extraen, y sobre todo se debe a la creciente necesidad de conservar y regular recursos químicos [18].

Los polímeros naturales son todos aquellos que provienen de los seres vivos, y, por lo tanto, dentro de la naturaleza podemos encontrar una gran diversidad de ellos. Las proteínas, los polisacáridos, los ácidos nucleicos son todos polímeros naturales que cumplen funciones vitales en los organismos y por tanto se les llama biopolímeros. Otros ejemplos son la seda, el caucho, el algodón, la madera (celulosa), la quitina, etc. [16].

Existe una infinidad de polímeros naturales, entre los cuales se pueden destacar tres grupos: Proteínas, Polisacáridos y Ácidos Nucleicos, los cuales se enuncian en la siguiente tabla:

Tabla 2: Clasificación de los polímeros naturales según su origen.

| Polímeros naturales | | |
|---------------------|---------------|-------------------------------|
| Proteínas | Estructurales | Colágeno, Queratina, Elastina |
| | Funcionales | Enzimas, Hormonas |
| Polisacáridos | Estructurales | Celulosa, Quitina |
| Ácidos nucleicos | ADN y ARN | |

2.1.3.1.2 Polímeros sintéticos:

La mayor parte de polímeros sintéticos (llamados comúnmente plásticos) se sintetizan a partir del petróleo, el gas natural y el carbón. Una cantidad menor pueden sintetizarse a partir de otros materiales [17].

2.1.3.1.3 Polímeros semisintéticos:

Los polímeros semisintéticos son resultado de la modificación de un monómero natural. La nitrocelulosa o el caucho vulcanizado, lo son ejemplos de ellos [16].

2.1.3.2 Clasificación de los polímeros según la unión de sus monómeros:

Por otro lado, los polímeros se pueden clasificar de acuerdo a la unión de sus monómeros en Homopolímeros y Copolímeros.

2.1.3.2.1 Homopolímeros:

Los homopolímeros son macromoléculas que están formadas por monómeros idénticos, la celulosa y el caucho son homopolímeros naturales, mientras que el PVC, el polietileno y el propileno (Figura 1) son sintéticos [16].

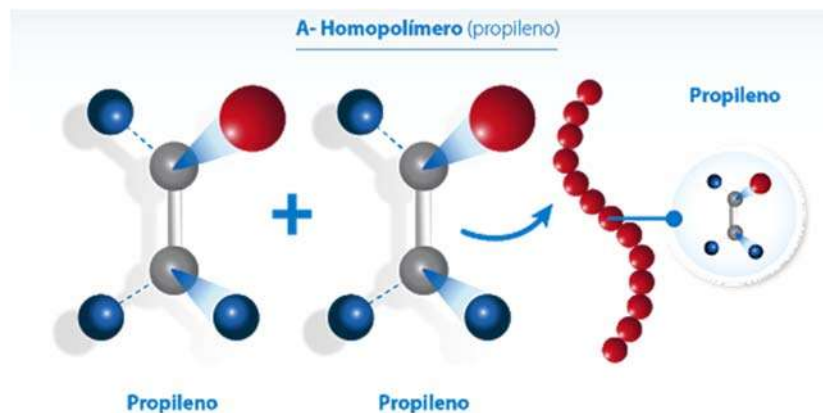


Figura 1: Formación de Homopolímeros

2.1.3.2.2 Copolímeros:

Cuando en un proceso de polimerización se utilizan dos o más monómeros químicamente diferentes, el polímero resultante se denomina copolímero. Comúnmente se emplean solo dos,

o como máximo tres monómeros diferentes [6]. Por ejemplo, la seda como copolímero natural, y la baquelita como sintético [16].

Los copolímeros se clasifican según la secuencia de los monómeros como copolímeros de bloque, de injerto y al azar, los cuales se muestran en la figura 2 [4].

2.1.3.2.2.1 Copolímeros de bloque:

En un copolímero en bloque, todos los monómeros de un mismo tipo se encuentran agrupados entre sí, al igual que el otro tipo de monómeros. Un copolímero en bloque puede ser imaginado como dos homopolímeros unidos por sus extremos [25].

2.1.3.2.2.2 Copolímeros de injerto:

Cuando las cadenas de un polímero formado a partir del monómero B se encuentran injertadas en una cadena polimérica del monómero A, tenemos un copolímero de injerto. [25].

2.1.3.3.3.3.3 Copolímeros al azar:

Copolímero con los monómeros unidos en una secuencia desordenada a lo largo de la cadena del polímero [26].



Figura 2: Tipos de copolímeros

2.1.3.3 Clasificación de los polímeros de acuerdo a su estructura:

Otra manera de clasificar los polímeros es de acuerdo a su estructura, entre los cuales podemos encontrar los polímeros lineales, los polímeros ramificados, los polímeros entrecruzados o entrelazados y los polímeros reticulados o de red, como se muestra en la figura 3.

2.1.3.3.1 Polímeros lineales:

En estos las unidades monoméricas se unen unas a otras formando cadenas sencillas. Estas largas cadenas son flexibles y pueden unirse entre sí por fuerzas de Van der Waals [18]. Una molécula lineal no es necesariamente de forma recta. Algunos polímeros lineales son las poliamidas (nylon 6,6) y el fluoruro de polivinilo [19].

2.1.3.3.2 Polímeros ramificados:

Son polímeros cuya cadena principal está conectada lateralmente con otras cadenas secundarias. Estas ramificaciones son el resultado de las reacciones locales que ocurren durante la síntesis del polímero y disminuyen la eficacia del empaquetamiento, obteniéndose, por tanto, polímeros de menores densidades [18]. La ramificación interfiere con el movimiento relativo de las cadenas moleculares; como resultado, se incrementa la resistencia a la deformación y la resistencia al agrietamiento por esfuerzo [19].

2.1.3.3.3 Polímeros entrecruzados o entrelazados:

En estos las cadenas lineales adyacentes se unen transversalmente en varias posiciones mediante enlaces covalentes [18]. Los polímeros con una estructura de cadenas entrelazadas se conocen como termoestables; ejemplos son los epóxicos, los fenólicos y las siliconas. El enlace cruzado tiene una importante influencia en las propiedades del polímero (por lo general impartiendo dureza, resistencia, rigidez, fragilidad y una mejor estabilidad dimensional) [19].

2.1.3.3.4 Polímeros reticulados o de red:

Son polímeros compuestos por unidades trifuncionales que tienen tres enlaces covalentes activos, formando redes tridimensionales, en lugar de cadenas lineales generadas por las unidades monoméricas bifuncionales [18]. Los polímeros termoplásticos que ya han sido formados pueden entrelazarse, a fin de obtener mayor resistencia, sometiéndolos a una

radiación de alta energía, como luz ultravioleta, o haz de electrones, aunque una radiación excesiva puede causar degradación del polímero [19].

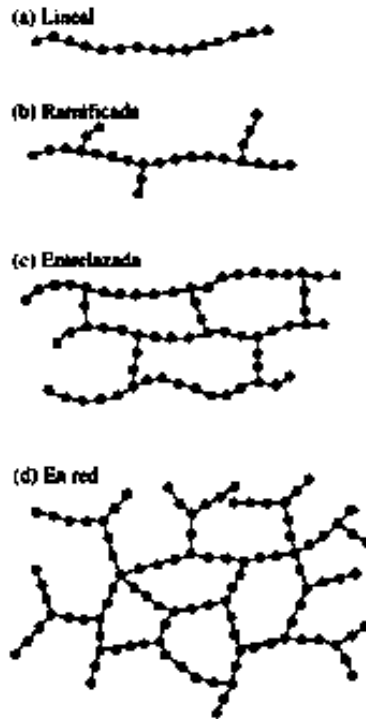


Figura 3: Ilustración esquemática de cadenas de polímero. (a) Estructura lineal, (b) Estructura ramificada, (c) Estructura de enlace o entrelazada, (d) Estructura reticulada o de red.

2.1.3.4 Clasificación de los polímeros de acuerdo a sus propiedades mecánicas:

Las propiedades mecánicas que interesan de los polímeros, en función de sus posibles aplicaciones son: su capacidad de ser moldeados por calentamiento, la posibilidad de hacer fibras y su capacidad de recuperar la forma luego de ser sometidos a una deformación. Desde este punto de vista los polímeros se clasifican en: elastómeros, plásticos, resinas y fibras [11].

2.1.3.4.1 Elastómeros:

Un elastómero es un material que exhibe un comportamiento elástico. Cuando un elastómero se somete a estiramiento o flexión, recupera su forma original una vez que se retira la fuerza distorsionadora, siempre que no se haya deformado más allá de cierto límite elástico [8].

2.1.3.4.2 Plásticos:

Los plásticos conservan la deformación causada por la aplicación de una fuerza. Pueden ser moldeados por presión. Tienen, en general, una estructura compuesta por cadenas lineales. Estas cadenas se entrelazan al azar, sin estructura particular de orden, constituyendo un material sin estructura cristalina, llamado sólido amorfo [11].

2.1.3.4.3 Resinas:

Las resinas son polímeros termorrígidos, altamente insolubles. Estructuralmente son redes tridimensionales formadas por uniones covalentes lo que no permite el desplazamiento de una parte con respecto a la otra [11].

2.1.3.4.4 Fibras:

Algunos polímeros se pueden hilar para construir fibras textiles, entre ellos las poliamidas y poliésteres. Esto se logra por la aplicación de alta temperatura y presión, por lo que el polímero debe, necesariamente ser plástico [11].

2.1.4 PROCESOS DE POLIMERIZACIÓN:

Los monómeros se pueden enlazar en polímeros en unidades repetitivas, para formar moléculas más largas y más grandes, mediante un proceso llamado reacción de polimerización.

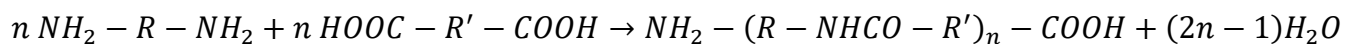
Durante la polimerización, los polímeros se unen mediante enlaces covalentes, formando una cadena de polímero. Debido a su resistencia, las uniones covalentes también se conocen como uniones primarias. Las cadenas de polímero están por su parte enlazadas entre sí mediante uniones o enlaces secundarios, como los enlaces Van der Waals, los enlaces de hidrogeno y las uniones iónicas [13].

Los procesos de polimerización fueron divididos por Flory (1953) y Carothers (Mark 1940) en los siguientes dos grupos: Polimerización de condensación o de reacción por etapas y Polimerización de adición o de reacción en cadena:

2.1.4.1. Polimerización de condensación o de reacción por etapas:

El polímero obtenido por medio de esta vía se conoce como polímero de condensación [4]. En la formación del polímero la condensación tiene lugar entre monómeros polifuncionales para producir una molécula polifuncional mayor, con la posible eliminación de una molécula pequeña como el agua. La reacción continúa hasta que casi la totalidad de uno de los reactivos ha sido utilizada; se establece un equilibrio que puede desplazarse a voluntad a altas temperaturas controlando las cantidades de los reactivos y los productos [2]. El proceso también se conoce como polimerización por crecimiento en etapas o por reacción en etapas, porque la molécula de polímero crece, etapa por etapa hasta que se consume todo el reactivo [13].

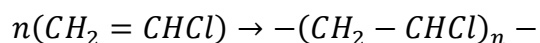
Un caso típico es el de la formación de las poliamidas a partir de la reacción de diaminas y ácidos dicarboxílicos [2].



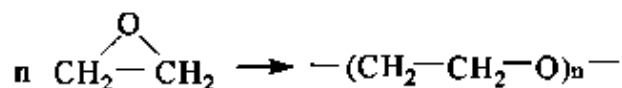
2.1.4.2 Polimerización de adición o de reacción en cadena:

El polímero obtenido por medio de esta vía se conoce como polímero de adición, en este tipo de polímeros la unidad estructural de repetición tiene la misma composición que la del monómero de partida [4]. Implica reacciones en cadena en las que el portador de la cadena puede ser un ion o una sustancia con un electrón desapareado llamado radical libre. Un radical libre se forma usualmente por la descomposición de un material relativamente inestable llamado iniciador. El radical libre es capaz de reaccionar para abrir el doble enlace de un monómero de vinilo y adicionarse a él, quedando un electrón desapareado. En un tiempo muy breve muchos más monómeros se suman a la cadena que crece. Finalmente, dos radicales libres reaccionan aniquilando recíprocamente su actividad de crecimiento y formando una o más moléculas de polímero [2].

El grupo más importante de polímeros de adición corresponde a los formados a partir de monómeros que contienen un doble enlace carbono-carbono, como es el caso del policloruro de vinilo (PVC)



Dentro de los polímeros de adición cabe destacar aquellos que se obtienen a partir de monómeros cíclicos, como el poli(óxido de etileno) (POE) [4].

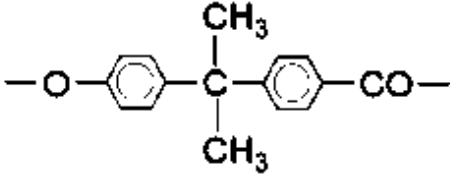
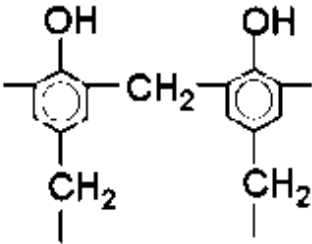


En las tablas 3 y 4 se muestran algunos polímeros de adición y condensación de uso muy común, sus abreviaturas y sus unidades estructurales de repetición. En el caso de los polímeros de adición se muestran las estructuras de polietileno, polipropileno, poliestireno, poli(cloruro de vinilo), poli(acrilonitrilo), poli(metil metacrilato), y polibutadieno, mientras que para los polímeros de condensación se muestran ejemplos de poliéster, poliamida, policarbonato, polietilenterftalato, poliuretano y una resina de fenol-formaldehido [27].

Tabla 3: Polímeros de adición de uso frecuente.

| Polímero | Abreviatura | Unidad de repetición |
|-----------------------------|-------------|--|
| Polietileno | PE | $\text{---} \text{CH}_2 \text{---} \text{CH}_2 \text{---}$ |
| Polipropileno | PP | $\begin{array}{c} \text{CH}_2 \text{---} \text{CH} \text{---} \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$ |
| Poliestireno | PS | $\begin{array}{c} \text{---} \text{CH}_2 \text{---} \text{CH} \text{---} \\ \\ \text{C}_6\text{H}_5 \end{array}$ |
| Poli(cloruro de vinilo) | PVC | $\begin{array}{c} \text{---} \text{CH}_2 \text{---} \text{CH} \text{---} \\ \\ \text{Cl} \end{array}$ |
| Poliacrilonitrilo | PAN | $\begin{array}{c} \text{---} \text{CH}_2 \text{---} \text{CH} \text{---} \\ \\ \text{C} \equiv \text{N} \end{array}$ |
| Poli(metacrilato de metilo) | PMMA | $\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{---} \text{CH}_2 \text{---} \text{CH} \text{---} \\ \\ \text{COOCH}_3 \end{array}$ |
| Polibutadieno (1,4-cis) | PB | $\text{---} \text{CH}_2 \text{---} \text{CH} = \text{CH} \text{---} \text{CH}_2 \text{---}$ |

Tabla 4: Polímeros de condensación de uso frecuente.

| Polímero | Abreviatura | Unidad de repetición |
|------------------------------|-------------|--|
| Poliéster | | $-\text{R}-\text{OCO}-\text{R}'-\text{COO}-$ |
| Poliamida | PA | $-\text{NH}-\text{R}-\text{NHCO}-\text{R}'-\text{CO}-$ |
| Polycarbonato | PC |  |
| Poli(etilen terftalato) | PET | $-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{OCO}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{COO}-$ |
| Poliuretano | PU | $-\text{NH}-\text{COO}-\text{R}-\text{OCO}-\text{NH}-\text{R}'-$ |
| Resina de fenol-formaldehído | |  |

2.1.5 TERMOPLÁSTICOS Y TERMOESTABLES:

Los plásticos son materiales que se pueden moldear para darles diversas formas, por lo general mediante la aplicación de presión y calor [8]. De acuerdo por la clasificación propuesta por Crawford se pueden clasificar en materiales termoplásticos y termoestables; en la tabla 5 se muestran algunos ejemplos de estos materiales; dicha tabla muestra el tipo de material, algunas marcas registradas, características de las principales aplicaciones y sus aplicaciones típicas.

2.1.5.1 Materiales termoplásticos y termoestables:

Los materiales termoplásticos son polímeros lineales no entrecruzados, pudiendo convertirse en fluidos por calentamiento y tomar una forma determinada, forma que mantienen una vez fríos. Este proceso de calentamiento, toma de forma y enfriamiento puede repetirse indefinidamente ya que no tienen lugar procesos de descomposición térmica. Son por tanto reciclables [4].

Los materiales termoestables, son polímeros infusibles e insolubles debido a que las cadenas de estos materiales forman una red tridimensional espacial, entrelazándose con fuertes enlaces covalentes. La estructura formada toma el aspecto macroscópico de una única molécula, cuya forma se fija permanentemente, debido a que la movilidad de las cadenas y los grados de libertad para rotación en los enlaces es prácticamente cero [13]. Para dar forma a estos materiales se parte de un intermedio (plástico termoendurecible) que aún es capaz de fundir, teniendo lugar la polimerización y el entrecruzamiento en el proceso de toma de forma [4].

La mayoría de los polímeros de adición son termoplásticos. Entre los polímeros de condensación, algunos son termoplásticos (poliamidas, policarbonatos, poliésteres lineales, poliuretanos lineales, etc.) y otros termoestables (poliésteres insaturados, resinas epoxi, resinas fenólicas, resinas de urea, etc.) [4].

Los plásticos termoestables poseen algunas ventajas respecto a los termoplásticos. Por ejemplo, mejor resistencia al impacto, a los solventes, a la permeación de gases y a las temperaturas extremas. Entre las desventajas se encuentran, la dificultad de procesamiento, la necesidad del curado, el carácter quebradizo del material (frágil) y el no presentar reforzamiento al someterlo a tensión [13].

2.1.5.2 Proceso de polimerización de los termoestables:

El proceso de polimerización se suele dar en dos etapas: en la primera se produce la polimerización parcial, formando cadenas lineales, mientras que en la segunda el proceso se completa entrelazando las moléculas aplicando calor y presión durante el conformado. La primera etapa se suele llevar a cabo en la planta química, mientras que la segunda se realiza en la planta de fabricación de la pieza terminada. También pueden obtenerse plásticos

termoestables a partir de dos resinas líquidas, produciéndose la reacción de entrelazamiento de las cadenas al ser mezcladas. La reacción de curado es irreversible, de forma que el plástico resultante no puede ser reciclado, ya que si se incrementa la temperatura el polímero no funde, sino que alcanza su temperatura de degradación [13].

Tabla 5: Marcas, características y típicas aplicaciones de algunos materiales plásticos.

| Tipo de material | Marcas registradas | Características de las principales aplicaciones | Aplicaciones típicas |
|---|---------------------------------|---|--|
| Termoplásticos | | | |
| Acrilonitrilo-butadieno-estireno (ABS) | Marbon, Cicolac, Lustran, Abson | Gran resistencia y tenacidad; resistente a la distorsión térmica; buenas propiedades eléctricas; inflamable y soluble en disolventes orgánicos | Recubrimiento de interiores de frigoríficos; cortacéspedes y equipos de jardinería, juguetes y dispositivos de seguridad de carreteras |
| Acrílicos [Poli(metacrilato de metilo)] | Lucite, Plexiglas | Extraordinaria transmisión de la luz y resistencia a la degradación ambiental; propiedades mecánicas regulares | Lentes, ventanas de avión, material para dibujar, letreros exteriores |
| Fluorocarbonos (PTFE o TFE) | Teflon TFE, Halon TFE | Químicamente inertes en la mayoría de los ambientes; excelentes propiedades eléctricas; bajo coeficiente de fricción; se pueden utilizar hasta los 260°C; nula o despreciable fluencia a temperatura ambiente | Aislamientos anticorrosivos, tuberías y válvulas químicamente resistentes, cojinetes, recubrimientos antiadherentes, componentes eléctricos expuestos a altas temperaturas |
| Nilones | Zytel, Plaskon | Buenas resistencias mecánica y a la abrasión y tenacidad; bajo | Cojinetes, engranajes, levas, palancas y |

| | | | |
|----------------|-------------------------------------|---|---|
| | | coeficiente de fricción; absorbentes del agua y de otros líquidos | recubrimientos de alambres y cables |
| Policarbonatos | Merlon, Lexan | Dimensionalmente estables; baja absorción del agua; transparencia; gran resistencia al impacto y ductilidad; extraordinaria resistencia química | Cascos de seguridad, lentes, globos para alumbrado, bases para películas fotográficas |
| Polietileno | Alathon, Petrothene, Hi-fax | Químicamente resistentes y eléctricamente aislantes; blandos y bajo coeficiente de fricción; baja resistencia mecánica y poca resistencia a la degradación ambiental | Botellas flexibles, juguetes, vasos, carcasas de pilas, cubiteras, laminas para embalaje |
| Polipropileno | Pro-fax, Tenite, Moplen | Resistencia a la distorsión térmica; excelentes propiedades eléctricas y resistencia a la fatiga; químicamente inerte; relativamente barato; poca resistencia a la radiación ultravioleta | Botellas esterilizables, laminas para embalaje, televisores, maletas |
| Poliestireno | Styron, Lustrex, Rexolite | Excelentes propiedades eléctricas y claridad óptica; buena estabilidad térmica y dimensional; relativamente económico | Tejados, electrodomésticos, carcasas de pilas, juguetes, paneles de alumbrado doméstico |
| Vinilos | PVC, Pliovic, Saran, Tygon | Materiales para aplicaciones generales y económicas; ordinariamente rígidos pero con plastificantes se vuelve flexible; | Recubrimientos de suelos, tuberías, recubrimientos aislantes de hilos eléctricos, |

| | | | |
|--------------------------------|------------------------------------|--|--|
| | | a menudo copolimerizado; susceptible a la dispersión térmica | mangas de riesgo, discos fonográficos |
| Poliéster (PET) | Mylar, Celanar, Dacron | Una de las películas plásticas más blandas; excelentes resistencias a la fatiga, a la torsión, a la humedad, a los ácidos, a los aceites y a los disolventes | Cintas magnetofónicas, paños, encordado de neumáticos |
| Polímeros Termoestables | | | |
| Fenólicos | Bakelite, Durez, Resinox | Excelente estabilidad térmica hasta los 150°C; susceptible de formar materiales compuestos con muchas resinas, material de relleno, etc.; barato | Carcasas de motores, teléfonos, distribuidores de automóvil (DELCO), accesorios eléctricos |
| Poliésteres | Selectron, Laminac, Paraplex | Excelentes propiedades eléctricas y barato; se puede utilizar a temperatura ambiente o elevada; se suele reforzar con fibras | Cascos, barcos pequeños, paneles de automóvil, sillas, ventiladores |
| Siliconas | DC resinas | Excelentes propiedades eléctricas; químicamente inerte, pero atacable por el vapor; extraordinaria resistencia al calor; relativamente económico | Laminas y cintas aislantes a elevadas temperaturas |

2.1.6 PESO MOLECULAR Y DISTRIBUCIÓN:

El valor del peso molecular de un polímero depende del proceso de preparación (temperatura, presión, concentración del monómero y del iniciador), pero además no es la misma para todas las unidades que constituyen una muestra de polímero. En la preparación coexisten cadenas de polímeros de distinta longitud y, por lo tanto, de diferente masa (Tabla 6). Por esta razón, solo pueden darse valores medios de la masa molar de un polímero o de su grado de polimerización, entendiendo que toda muestra de polímero es en realidad una mezcla de macromoléculas de diferente tamaño [11].

Tanto los polímeros sintéticos como los naturales suelen consistir en una mezcla de macromoléculas con diferente peso molecular. Dependiendo de las condiciones de formación, los pesos moleculares podrían estar distribuidos dentro de un intervalo amplio o concentrarse marcadamente en torno a un valor medio. En parte debido a esta distribución de pesos moleculares, los polímeros son en gran medida materiales amorfos (no cristalinos). En lugar de exhibir fases cristalinas bien definidas con puntos de fusión abruptos, se reblandecen dentro de un intervalo de temperaturas [8].

La dispersión de los pesos moleculares de las cadenas se conoce como distribución del peso molecular (MWD, por sus siglas en inglés). El peso molecular de un polímero y su MWD tienen gran influencia sobre sus propiedades. La resistencia a la tensión y al impacto, la resistencia al agrietamiento, y la viscosidad (en estado de fusión) de un polímero, se incrementa al aumentar el peso molecular [13].

Tabla 6: Efecto del tamaño de la molécula sobre su estado de agregación.

| Número de unidades $-CH_2 - CH_2 -$ | Peso molecular | Estado físico a 20°C |
|---|-----------------------|-----------------------------|
| 1 | 30 | Gas |
| 6 | 170 | Líquido |
| 35 | 1000 | Grasa |
| 430 | >12000 | Resina |

2.1.6.1 Grado de polimerización:

En algunos casos, resulta más conveniente expresar el tamaño de una cadena de polímero en función del grado de polimerización (DP, por sus siglas en inglés) [13], ya que algunas muestras de polímeros sintéticos contienen moléculas con unas determinadas características estructurales, pero estas moléculas no contienen todas ellas el mismo número de unidades repetitivas, número que se denomina grado de polimerización. Este hecho se conoce como la polidispersidad de una muestra y esta originado por el procedimiento de síntesis, que condiciona la existencia de una distribución determinada de longitudes de cadena o pesos moleculares [20].

El gado de polimerización (o el peso molecular promedio en número) está definido como la relación del peso molecular del polímero al peso molecular de la unidad repetitiva [13].

Cabe mencionar que mientras más elevado sea el grado de polimerización mayor será la viscosidad del polímero, es decir su resistencia a fluir (Figura 4); una elevada viscosidad afecta de manera adversa la facilidad de formación y por lo tanto eleva el costo general del proceso [13].

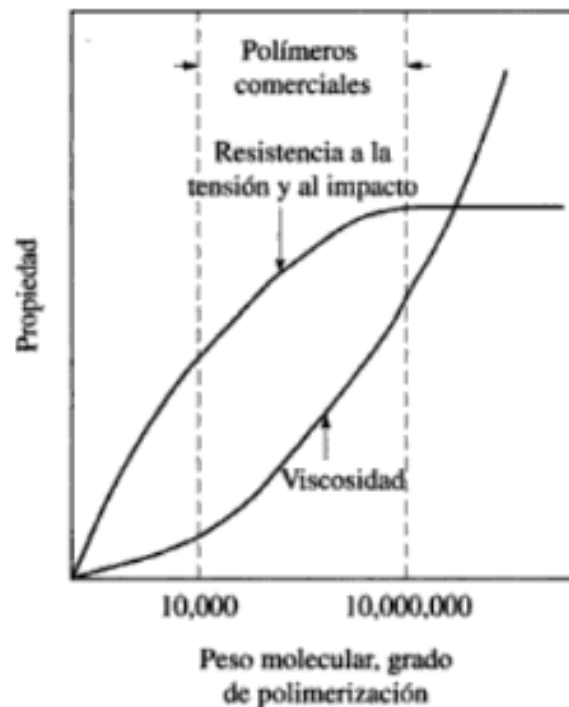


Figura 4: Efecto del peso molecular y del grado de polimerización sobre la resistencia y viscosidad de los polímeros.

2.1.7 CRISTALINIDAD DEL POLÍMERO:

La cristalinidad de un polímero puede considerarse como el empaquetamiento de cadenas moleculares para producir una disposición molecular ordenada [9].

En muchos casos, la cristalinidad de un polímero se puede elevar mediante estirado mecánico o tensión para alinear las cadenas mientras el polímero fundido se estira a través de agujeros pequeños. Las fuerzas intermoleculares entre las cadenas de polímeros mantienen unidas las cadenas en las regiones cristalinas ordenadas, y esto hace un polímero más denso, más duro, menos soluble y más resistente al calor [8].

Para que los polímeros puedan cristalizar tienen que producirse una serie de cambios conformacionales y de orden que hacen que los polímeros deban cumplir una serie de condiciones o requerimientos estructurales [9]:

- Regularidad química
- Regularidad geométrica
- Regularidad espacial

Estas condiciones son necesarias, pero no suficientes para que se obtenga un sólido regular.

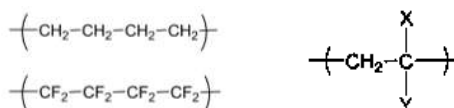
2.1.7.1 Regularidad química:

Las cadenas de polímero químicamente regulares son aquellas constituidas por átomos iguales. Por otra parte, los polímeros vinílicos, dado que presentan diferentes átomos, para poder cristalizar deben cumplir las condiciones de regularidad geométrica y estructural.

Entre los factores que afectan la regularidad química podemos encontrar los siguientes:

Las ramificaciones: Debido a que rompen con la regularidad de la cadena y;

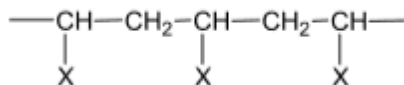
La copolimerización: Los copolímeros al azar raramente cristalizan, mientras que en los copolímeros de bloque si se puede encontrar cristalinidad, pero tienen problemas de miscibilidad [9].



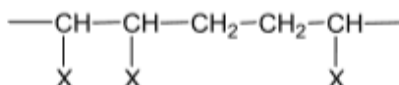
2.1.7.2 Regularidad geométrica:

En ella se tienen en cuenta los enlaces entre los distintos monómeros que conforman las cadenas poliméricas. Aquí podemos encontrar dos tipos de uniones:

Uniones cabeza-cola: Son las uniones más comunes en las cadenas poliméricas.



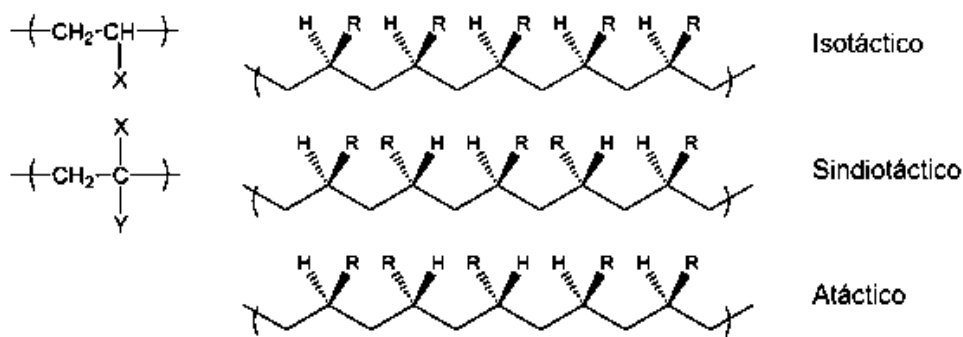
Uniones cabeza-cabeza: Si este tipo de uniones superan un 5% la cristalinidad se reducirá [9].



2.1.7.3 Regularidad espacial:

Se refiere a la disposición en el espacio de los sustituyentes en la cadena. Ésta es una condición necesaria para que los polímeros vinílicos cristalicen. Cuando los sustituyentes son simétricos, si son isotácticos o sindiotácticos pueden cristalizar. Sin embargo, cuando son atácticos no cristalizan. Los polímeros atácticos solo cristalizarán cuando sus sustituyentes son o muy pequeños o muy polares, es decir, en muy pocos casos.

El tamaño del sustituyente tiene influencia en la velocidad de cristalización, ya que los sustituyentes tienen que orientarse para cristalizar, por lo que será necesario que sus átomos se muevan [9].



2.1.8 ALGUNOS USOS DE LOS POLÍMEROS:

Caucho endurecido, ebonita: Es el producto de la reacción del caucho con alrededor del 32% de azufre, lo que da un sólido duro inextensible. La ebonita puede mecanizarse bien y con frecuencia se produce en barras, tubos o placas para este fin. Sus aplicaciones dependen de su carácter químico inerte, resistencia a la corrosión y de sus propiedades de aislante eléctrico y térmico.

Caucho clorado: Es producto de la reacción entre el caucho y el cloro, es conocida desde 1801. Este material se utiliza en la producción de pinturas, barnices y lacas resistentes al calor y los agentes químicos, pueden fabricarse películas, soluciones impregnantes y polvos para modelo.

Hidrocloruro de caucho: El cloruro de hidrogeno se adiciona a los dobles enlaces del caucho. Su principal uso es en películas para envoltorios con fines protectores, tiene aplicación en el empaquetado de alimentos, máquinas de precisión y piezas de recambio para máquinas.

Caucho oxidado: El caucho puede oxidarse de un modo controlado por masticación en aire en presencia de un catalizador. Es útil para la impregnación de papeles y cartones y para revestimientos protectores.

Caucho ciclado: Cuando se calienta el caucho lentamente o se trata con reactivos ácidos se hace duro y frágil. Se utilizan como ingredientes de composición para suelas y tacones de zapatos y en adhesivos para uniones caucho a metal.

Guttapercha y balata: Son resinas o gomas naturales provenientes de árboles indígenas de Malaya y Centroamérica, respectivamente. Son útiles para recubrir cables, para tejidos con fines adhesivos y quirúrgicos, y la piel externa de pelotas de golf [3].

Polimetacrilato de metilo: Tiene buena calidad óptica y se lo utiliza en ventanas y lentes. Algunos derivados de este polímero se utilizan para fabricar lentes de contacto. Con este fin se los modifica químicamente, por introducción de gran cantidad de grupos hidroxilo, para hacerlos más hidrofílicos.

Politetrafluoroetileno o teflón: es un plástico untuoso y resistente a la combustión y a la temperatura hasta unos 200°C. se utiliza en piezas autolubricadas y en menaje antiadherente [11].

PET o PETE (Polietileno tereftalato): Es el plástico típico de envases de alimentos y bebidas, gracias a que es ligero, resistente y reciclable. En este sentido, una vez reciclado, el PET se puede utilizar en muebles, alfombras, fibras textiles, piezas de automóvil y ocasionalmente en nuevos envases de alimentos entre otros.

HDPE (Polietileno de alta densidad): Gracias a su versatilidad y resistencia química se utiliza sobre todo en envases, en productos de limpieza de hogar o químicos industriales, como por ejemplo botellas de champú, detergente, cloro, etc. Asimismo, también se puede ver en envases de leche, zumos, yogurt, agua, y bolsas de basura. Se recicla de muy diversas formas, como en tubos, botellas de detergentes y limpiadores, muebles de jardín, botes de aceite, etc.

PVC (Vinílicos o Cloruro de Polivinilo): También es muy resistente, por lo que es muy utilizado como envase en limpiadores de ventanas, botellas de detergente, champú, aceites, y también en mangueras, equipamientos médicos, ventanas, tubos de drenaje, materiales para construcción, forro para cables, etc. Una vez reciclado, puede ser utilizado para paneles, tarimas, canalones de carretera, tapetes, etc.

LDPE (Polietileno de baja densidad): Este plástico fuerte, flexible y transparente se puede encontrar en bolsas muy diversas (de la compra o para comida congelada, pan, etc.) mangueras, cubos, etc. Tras su reciclado se puede utilizar de nuevo en contenedores y papeleras, sobres, paneles, tuberías o baldosas, por ejemplo.

PP (Polipropileno): Su alto punto de fusión permite envases capaces de contener líquidos y alimentos calientes. Se suele utilizar en la fabricación de envases médicos, yogures, pajitas, botes de ketchup, tapas, algunos contenedores de cocina, etc. Una vez reciclado se puede utilizar en señales luminosas, cables de batería, escobas, cepillos, raspadores de hielo, bastidores de bicicleta, rastrillos, cubos, paletas, bandejas, etc.

PS (Poliestireno): Es utilizado en platos y vasos de usar y tirar, hueveras, bandejas desechables utilizadas en alimentación, envases de aspirina, etc. Su bajo punto de fusión hace

posible que pueda derretirse en contacto con el calor. Una vez reciclado, se pueden obtener diversos productos entre ellos, material para edificación, aislantes, etc. [3].

2.1.9 PROBLEMÁTICA DEL PLÁSTICO:

Para muchos, el plástico es esencialmente una solución debido a sus propiedades mecánicas, resistencia química o térmica, o compatibilidad con los tejidos vivos. Así, los envases de plástico son más baratos y fáciles de producir, y por tanto se utilizan para diversos productos. En la medicina, el plástico puede estar en una jeringuilla, un conector, una herramienta quirúrgica o ser un implante que sustituya a una arteria afectada [23].

Para otros, el plástico es todo un problema. Es un contaminante que, por su abundancia y bajo coste, se lanza con facilidad hacia el medio ambiente ocasionando todo tipo de contratiempos, desde la muerte de animales por asfixia, por comerlos o por enredarse con ellos, hasta la degradación de ecosistemas y, en un caso extremo formando concentraciones en los giros o vórtices que se forman en el centro de los océanos debido a las corrientes circulares, muy especialmente la llamada gran mancha de plástico que hay en el Océano Pacífico [23].

La creciente producción y uso de los plásticos amenaza con contaminar cada rincón del planeta, especialmente los mares, destino final de muchos de ellos, donde perjudican seriamente la salud de los ecosistemas acuáticos y la supervivencia de las especies que los habitan. Los podemos encontrar en la playa, en las rocas, flotando en el agua e incluso en las zonas más profundas [20].

Hoy en día solo el 9% de todo el plástico que hemos producido y consumido hasta la actualidad a nivel mundial se ha reciclado, el 12% se ha incinerado, y la gran mayoría, el 79%, ha terminado en vertederos o en el medio ambiente. El 80% de los residuos que encontramos en el mar proviene de tierra, mientras que el 20% restante de la actividad marítima [22].

La producción total de plástico en 2015 alcanzó los 380 millones de toneladas [21]. Según cifras calculadas hasta el 2017 se han fabricado unos 8,300 millones de toneladas de plástico desde que su producción empezó en 1950. De ellas, más de 6,300 millones se han convertido en residuos. Y de estos residuos, 5,700 millones de toneladas no han pasado nunca por un

contenedor de reciclaje [7]. Tan solo los fabricantes de bebidas producen más de 500,000 millones de botellas de plástico de un solo uso cada año [21].

En 2015 Jenna Jambeck, profesora de ingeniería de la Universidad de Georgia, calculó que entre 4.8 y 12.7 millones de toneladas al año de plástico sin reciclar termina en el mar solo contando el procedente de las regiones costeras. La mayor parte de los residuos plásticos que llegan al océano no los vierten los barcos, sino que se tiran al suelo o a los ríos y el viento o la escorrentía los arrastran luego al mar [7].

Es difícil estimar el tiempo que tarda en biodegradarse el plástico en los océanos, pero se considera que es más lento que en tierra ya que queda menos expuesto a la luz solar, además, de que disminuyen las temperaturas y el oxígeno, lo que retrasa su degradación. Durante este tiempo hasta que se degraden, todos los objetos de plástico que llegan al mar pueden causar graves daños a la fauna marina. Actualmente, unas 700 especies de organismos marinos algunos en peligro de extinción se ven afectados por este tipo de contaminación. Cada año, más de un millón de aves y más de 100.000 mamíferos marinos mueren como consecuencia de todos los plásticos que llegan al mar [22].

Particularmente perjudiciales resultan los microplásticos, fragmentos inferiores a 5 mm que pueden venir de la rotura de trozos grandes o haber sido fabricados así, como es el caso de las microesferas presentes en productos de higiene y limpieza como exfoliantes, pastas de dientes o detergentes. Estudios recientes han observado que los animales marinos están ingiriendo estos microplásticos, lo que está provocando bloqueos gastrointestinales y alteraciones en sus patrones de alimentación y reproducción, además hay evidencias de que se transfieren a lo largo de la cadena alimentaria y llegan hasta nuestros platos [20].

Tanto los microplásticos como los macroplásticos tienen enormes impactos económicos y sociales. La basura acumulada en las playas afecta directamente a un sector turístico dependiente de la buena salud del litoral y el medio marino, mientras que las necesarias labores de limpieza causan enormes desembolsos de dinero público [20].

Reducir el uso y el impacto que los plásticos tienen sobre los ecosistemas es responsabilidad de todos y todas, tanto de las administraciones públicas como de la ciudadanía. Sus efectos,

aunque pueda parecer imperceptible, es demoledor, extendiéndose desde el Ártico a la Antártida, y causan estragos en las especies marinas [22].

El uso del plástico es insostenible y es un claro ejemplo de los impactos de la cultura del usar y tirar. Por ello hay que reducir la cantidad de plástico que se pone en circulación y apostar por la reutilización [21].

Las empresas empiezan a responder al sentir general de la población. Coca-Cola anunció que pretende "recoger y reciclar el equivalente" al 100 % de sus envases hacia 2030. Esta y otras multinacionales, como PepsiCo, Amcor y Unilever, se han comprometido a usar envases totalmente reutilizables, reciclables o compostables antes de 2025. Johnson & Johnson está volviendo a fabricar el palito de sus bastoncillos higiénicos con papel [7].

Por otro lado, en los últimos años se han desarrollado plásticos capaces de ser biodegradados. Eso implica cambiar el problema de la enorme resistencia de muchos plásticos a los procesos de descomposición más comunes. Los plásticos biodegradables tienen aditivos que les hacen descomponerse más rápidamente en presencia de luz, oxígeno, humedad y calor.

Otra forma de cambiar el problema ha sido la creación de los bioplásticos, hechos de materiales distintos del petróleo, como el almidón, que pese a tener muchas de las mismas propiedades de los tradicionales, son más fácilmente biodegradables e incluso compostables, es decir, se pueden descomponer para ser usados como fertilizantes. Entre sus ventajas adicionales está el que se necesita mucho menos energía para producirlos que los plásticos petroquímicos, y no aumentan el dióxido de carbono en la atmósfera cuando se descomponen [23].

2.1.10 RECICLAJE DEL PLÁSTICO:

El plástico tarda una gran cantidad de tiempo en degradarse, es por esto que el reciclaje de este material es una buena opción. El proceso consiste en recolectarlos, limpiarlos, recortarlos y clasificarlos en distintas clases, de acuerdo a sus características. Una vez realizado esto, se lo funde para ser utilizado como materia prima alternativa para la producción de otros artículos [13].

El mayor problema del reciclaje es educar a la gente para que recicle los plásticos, que en realidad tienen un precio por kilogramo mayor que, digamos, el acero. Aquí aparece una

dificultad adicional poco conocida: la mayoría de los desechos de plástico se producen no en las sociedades industriales, sino en países en proceso de emergencia económica como China e Indonesia, donde además la cultura del reciclaje está aún poco desarrollada [23].

2.1.10.1 RECICLADO INTERNO Y EXTERNO:



Se puede separar el reciclaje como interno y externo. Las empresas consideran el reciclaje interno como el proceso que realizan sobre sus residuos de producción. En el reciclaje externo la empresa no se considera responsable de sus productos terminados ni de los impactos de los mismos en su fin de vida. Dentro de los residuos potencialmente reciclables se debe hacer la distinción entre los de pre-consumo y los de post-consumo:






Pre-consumo: Es el resultante de los procesos industriales. Es utilizado por la industria por medio del reciclaje para recuperación de materias primas.

Post-consumo: Es aquel que requiere de mecanismos mucho más complejos para su recuperación, recolección y reutilización. A este solo le quedan dos alternativas de disposición: terminar en los rellenos sanitarios como basura, o su disposición en un tiradero a cielo abierto. Las empresas consideran este residuo responsabilidad del estado [13].

Para facilitar el reciclaje de los plásticos, cada grupo de polímeros se identifica con un símbolo normalizado que contiene un número y una abreviatura. Los fabricantes de productos plásticos deben incluir este símbolo en sus mercancías para facilitar la separación del plástico por grupos y hacer más sencillo su reciclaje. Los símbolos y sus correspondencias se resumen en la Tabla 7 [14].

Tabla 7: Símbolo, nombre y aplicaciones de algunos polímeros.

| Símbolo | Nombre | Aplicaciones |
|---|------------------------------|--|
|  | Tereftalato de polietileno | Botellas de bebidas |
|  | Polietileno de alta densidad | Botellas de plástico, juguetes, dispositivos de protección |

| | | |
|--|---------------------------------|--|
|  | Policloruro de vinilo | Tubos de saneamiento, protección de conductores eléctricos, señales e impresiones sobre plástico, discos de vinilo, ventanas... |
|  | Polietileno de baja densidad | Bolsas plásticas, plástico para invernaderos... |
|  | Polipropileno | Vasos, platos y cubiertos descartables, película transparente para el envase de alimentos, vasitos de yogurt... |
|  | Poliestireno | Hueveras, bandejas alimentarias descartables, aislante en la construcción (poliestireno extruido), envases alimentarios y protectores de embalajes para electrodomésticos, equipo eléctrico y electrónico (poliestireno expandido, poliespán o corcho blanco). |
|  | Otros (a menudo, policarbonato) | Gafas de sol, discos compactos, cajas o carcasas de aparatos electrónicos... |

2.1.11 BIOPLÁSTICOS:

El plástico es la tercera aplicación del petróleo más usada en el mundo, y al año consumimos 200 millones de toneladas en el planeta. Proviene de fuentes no renovables (petróleo), es contaminante y no biodegradable (puede tardar hasta más de 1.000 años en descomponerse).

Como alternativa, se está impulsando el uso de bioplásticos, que consisten en conseguir polímeros naturales a partir de residuos agrícolas, celulosa o almidón de patata o maíz [23].

Se denominan bioplásticos a aquellos plásticos que son biodegradables, y que esencialmente derivan de recursos renovables, como el almidón y la celulosa de las plantas, por ejemplo. Se dice que un material es biodegradable cuando puede ser degradado por microorganismos para originar moléculas sencillas asimilables por el ambiente. Como los microorganismos no tienen las enzimas necesarias para romper las uniones químicas de las moléculas que forman parte

de los plásticos sintéticos comunes, como el polietileno, polipropileno, policloruro de vinilo, polietilentereftalato, etc., estos plásticos no resultan biodegradables [24].

Los bioplásticos hoy se producen esencialmente a partir de los cultivos o sus desechos (almidón, celulosa) o a través de procesos de fermentación bacteriana. El mayor foco se ha centrado en el uso del almidón como materia prima, debido a su disponibilidad, sus antecedentes como parte de plásticos compostables, y a que es económicamente competitivo con el petróleo. Se emplea generalmente almidón de maíz, aunque se están investigando otras fuentes, como la papa, cebada y avena [24].

Los biopolímeros son 100% degradables, en muchas ocasiones son igual de resistentes y versátiles, y ya se usan en sectores como agricultura, industria textil, medicina y sobre todo en el mercado de embalajes y envases, por otro lado, los biopolímeros se están ya popularizando en ciudades europeas y estadounidenses, por cuestiones ecológicas. Este producto promete suponer el 10% del mercado europeo del plástico dentro de 10 años [25].

2.1.11.1 BIODEGRADABILIDAD:

Capacidad intrínseca de un material para ser degradado por la acción natural de microorganismos (bacterias, hongos, algas), para obtener progresivamente una estructura más simple. El material se convierte en dióxido de carbono, agua y/o estructura más simple. El material se convierte en dióxido de carbono, agua y/o metano y biomasa.

2.1.11.1.1 Factores que influyen en la biodegradación:

- Tamaño molecular y estructura química
- Población microbiana y actividad enzimática
- Condiciones ambientales:
 - Oscuridad
 - Humedad
 - Temperatura
 - pH
 - Cantidad de oxígeno disponible
 - Nutrientes

2.1.11.1.2 Ventajas de la biodegradabilidad.

- Reducción de residuos plásticos tradicionales que necesitan ser incinerados para su eliminación o reciclados para su posterior uso.
- Menor consumo energético en procesado debido a menores perfiles de temperatura (en general).
- Procesables mediante técnicas tradicionales.
- Procesables mediante técnicas tradicionales.
- Tendencia al descenso del precio (1.5-3 veces más que derivados del petróleo. Era 5 veces más caro hace 10 años).
- Reducción de emisión de gases invernaderos (CO₂).
- Necesidad de guardar recursos fósiles para aplicaciones donde no pueden ser sustituidos.
- Reestructuración de la industria del plástico.

2.1.11.2 COMPOSTABILIDAD:

Propiedad de un material que experimenta degradación biológica durante la formación de compost (materia orgánica (humus) relativamente estable resultante de un proceso de descomposición en el que las bacterias del suelo, mezcladas con la basura y con desperdicios degradables, convierten dicha mezcla en fertilizantes degradables, convierten dicha mezcla en fertilizantes orgánicos) para producir dióxido de carbono, agua, compuestos inorgánicos y biomasa, a una rapidez consistente con otros materiales compostables, sin residuos distinguibles visualmente ni residuos tóxicos [25].

2.2 ALMIDÓN:

Los polisacáridos son moléculas formadas por la unión de muchos monosacáridos entre sí. Se pueden dividir en dos grupos; el primero comprende moléculas formadas por monosacáridos iguales, el de los homopolisacáridos. El segundo grupo está formado por los heteropolisacáridos, que son polímeros de monosacáridos de distintos tipos unidos entre sí [6].

El almidón es un homopolisacárido de glucosa formado por una mezcla de dos polímeros, la amilosa y la amilopectina. La amilosa posee muchas de las propiedades de un polímero lineal enlazado por uniones α -D(1 → 4)-glucosídicas e históricamente se ha considerado así, con un grado de polimerización de aproximadamente 1,000; sin embargo, hoy en día se sabe que la amilosa contiene una cierta cantidad de ramificaciones que implican uniones α -D(1 → 6)-glucosídicas en los puntos de ramificación [1].

Después de la celulosa, el almidón es el carbohidrato de mayor abundancia en la naturaleza, además es el carbohidrato más importante en la actividad humana por su función alimenticia y por sus múltiples aplicaciones en la industria y el comercio, por otro lado, es una de las principales reservas de energía de las plantas [24] y es el polisacárido de mayor importancia en la alimentación de los animales, se encuentra en los cereales, las leguminosas, las raíces feculentas, semillas, etc. En los vegetales aparece en forma de gránulos microscópicos formados por dos tipos de compuestos: la amilosa y la amilopectina [5].

Los diferentes tipos de almidón se diferencian entre sí, por el tamaño de sus gránulos, su apariencia microscópica, sus características físicas y su constitución química, pues existen almidones que están constituidos por una mayor cantidad de amilosa y otros de amilopectina; los primeros tienen importancia en el campo de las fibras y plásticos, y los segundos en el campo alimenticio [24].

Los gránulos de almidón son extraídos por medios físicos para su utilización en diversas industrias, incluyendo la alimentaria [12].

El almidón, un polímero natural, en suspensión acuosa es capaz de adquirir una estructura de gel, por simple calentamiento o por tratamiento con solución de hidróxido de sodio (ambos procesos descritos por Swinkels, 1989) [1].

Los gránulos de almidón se hidratan cuando se suspenden en agua fría; si la suspensión se calienta se produce un hinchamiento mayor, que rompe el gránulo mayor y provoca que la amilosa y la amilopectina salgan fuera produciendo una suspensión viscosa. Se conoce como temperatura de gelatinización aquella en la que el granulo pierde su estructura ordenada [1].

Cuando la solución viscosa de almidón caliente se enfría se forma un gel, pero transcurrido el tiempo se puede producir un realineamiento de las cadenas lineales de amilosa y de las cadenas cortas de amilopectina, proceso conocido como retrogradación [1].

2.3 PLASTIFICANTES:

De acuerdo con la definición de las normas AST (ASTM-D883), un plastificante es un material que se incorpora a un plástico para facilitar su procesado y mejorar su flexibilidad o “distensibilidad”. La adición de un plastificante puede hacer que disminuya la viscosidad en estado fundido, el módulo de elasticidad, y la temperatura de transición vítrea (T_g) de un plástico [28].

Según el consejo de la IUPAC: un plastificante es una sustancia que se incorpora a un material plástico o elastómero para aumentar su flexibilidad y facilitar su transformación. Un plastificante puede reducir la viscosidad del fundido, rebajar la temperatura de transición vítrea o disminuir el modulo elástico del fundido [29].

Los plastificantes se añaden a las mezclas de elastómeros para: conseguir una menor dureza de los vulcanizados, obtener una mejor dispersión de las cargas, facilitar los procesos de mezcla y mantener elásticos los vulcanizados a bajas temperaturas [28].

2.3.1 CLASES DE PLASTIFICANTES:

Debemos distinguir dos clases de plastificantes: los que actúan sobre la molécula del elastómero y los que se sitúan intermolecularmente, facilitando la movilidad, tanto de las moléculas del elastómero como de las partículas intercaladas en él.

Los plastificantes pueden ser de origen natural: animal o vegetal; derivados de la hulla o del petróleo; y también pueden ser sustancias obtenidas por síntesis.

Plastificantes naturales: Aceites (de palma, lino, ballena), ácidos (Oleico esteárico, palmítico), sales (laurato de cinc, estearatos de Zn, Al, Pb, Ca), esterres de los ácidos oleico y ricinoleico.

Plastificantes derivados de la hulla: Aceites de antraceno, alquitran, brea.

Plastificantes derivados del petróleo: Aceites parafínicos, aceites nafténicos, aceites aromáticos, parafinas, asfaltos, betunes, resinas de polimerización.

Plastificantes de síntesis: Plastificantes esterres, resinas, derivados clorados [29].

CAPÍTULO 3:

METODOLOGIA

3.1 OBTENCIÓN DEL ALMIDÓN:

3.1.1 Recolección de la materia prima:

El hueso de aguacate se obtuvo de un negocio de comida japonesa llamado “King Roll” ubicado en la ciudad de Morelia, Michoacán, en donde se desechaba como basura orgánica, el hueso llegaba partido en 4 partes como se muestra en la figura 5.



Figura 5: Hueso de aguacate

3.1.2 Preparación de la materia prima:

Se remueven impurezas lavando la materia prima con agua, una vez limpia se corta en trozos pequeños y posteriormente se pesa para determinar el rendimiento al final del proceso como se muestra en la figura 6.



Figura 6: Hueso de aguacate en trozos

3.1.3 Triturado:

Se hace pasar la muestra por un molino triturador ya sea de mano o eléctrico por dos ocasiones para obtener una harina, dicha harina es utilizada para la extracción de almidón, tal como se muestra en las figuras 7, 8 y 9.



Figura 7: Triturado del hueso de aguacate



Figuras 8 y 9: Hueso de aguacate triturado

3.1.4 Extracción del almidón:

La extracción consiste en mezclar una parte de harina del hueso de aguacate por dos partes de agua y dejar reposar la mezcla durante al menos 20 minutos.

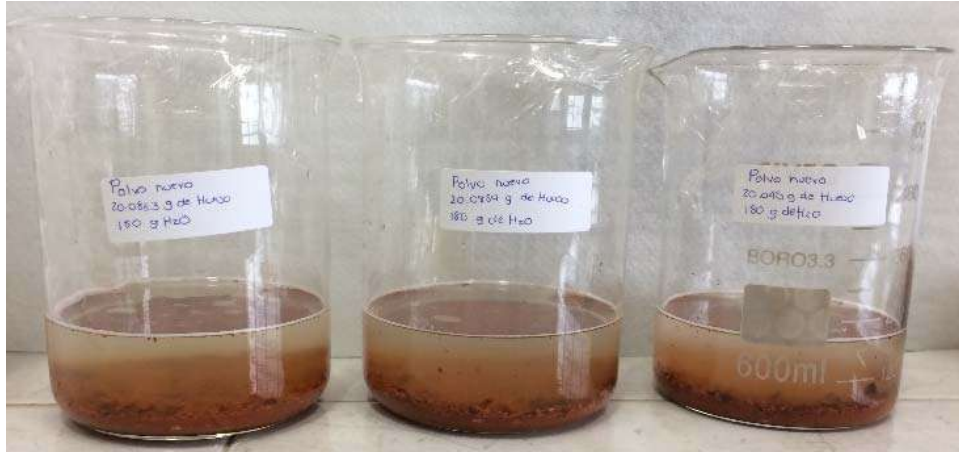


Figura 10: Reposo de la muestra en agua para la extracción del almidón.

3.1.5 Filtración:

La solución resultante es filtrada separando la porción acuosa de la vegetal, es en la porción acuosa donde se concentra el almidón, dicho proceso se muestra en las figuras 11, 12, 13 y 14.





Figuras 11, 12, 13 y 14: Proceso de filtrado.



Figura 15: Bagazo resultante de la filtración.

3.1.6 Sedimentación y decantación:

El filtrado (Figura 15) se refrigera durante 48 horas, para posteriormente pasar a la decantación, en la cual se elimina el agua de la superficie (figura 16), se le añade más agua limpia y se deja precipitar, este procedimiento se repite hasta observar que el agua salga completamente clara, el precipitado contiene el almidón extraído del hueso, el cual se muestra en la figura 17.



Figura 16: solución filtrada proveniente del hueso de aguacate.



Figura 17: Agua resultante de la decantación.



Figura 18: Precipitado en el que se puede encontrar el almidón.

3.1.7 Secado:

Se deja secar el precipitado en una estufa a 50°C. durante al menos 2 horas, es importante cuidar la temperatura ya que si esta aumenta podría dar como resultado un almidón modificado con otras propiedades, lo que podría alterar el resultado y no dar el deseado. Una vez que se obtiene el precipitado completamente seco (Figuras 18 y 19) se retira la capa superficial ya que en esa capa no se encuentra almidón (Figura 20).



Figuras 19 y 20: Precipitado seco.



Figura 20: precipitado seco con las capas separadas.

3.1.8 Triturado y tamizado:

Se tritura la muestra con un mortero (Figuras 20 y 21) y deja pasar la muestra triturada por una malla para retirar partículas mayores al tamaño deseado (Figuras 22 y 23).



Figuras 21 y 22: Triturado de la muestra.



Figuras 23 y 24: Tamizado de la muestra.

3.2 ELABORACIÓN DE LAS BIOPELÍCULAS:

1. En un vaso de precipitados disolver 10 g de almidón obtenido del hueso de aguacate en 20 g de agua con ayuda de una plancha de calentamiento bajo agitación constante (Figura 24).
2. Una vez disuelta la solución anterior se incorporan 10 g de glicerol como agente plastificante. La solución resultante se somete a calentamiento 90°C/10 minutos en baño de maría, subsiguientemente disminuir la temperatura hasta 50°C agitando continuamente (Figura 25).
3. Para la formación de las biopelículas se disponen volúmenes de 15 ml por placa, en cajas de petri previamente esterilizadas (Figuras 26 y 27).
4. El secado se realiza en una estufa a 50°C durante horas, asegurando la dispersión y uniformidad de las biopelículas previo al secado.

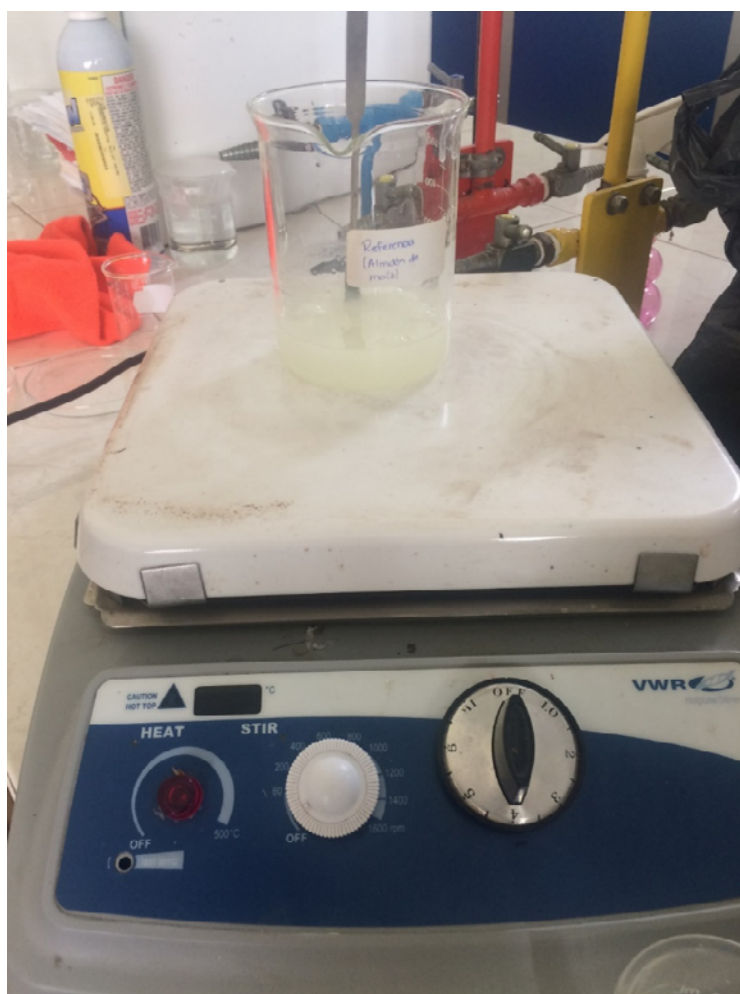


Figura 25: Disolución del almidón.

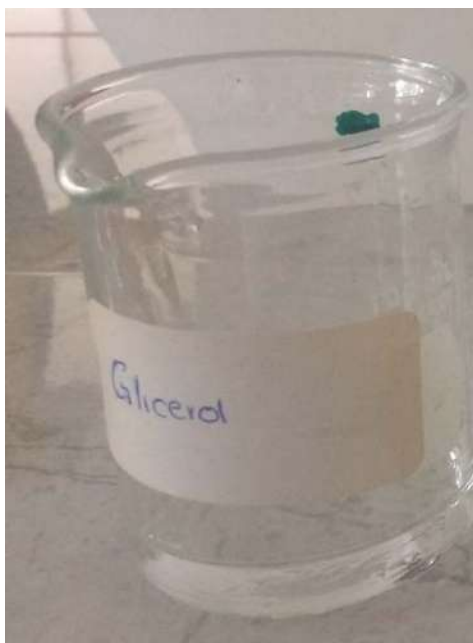
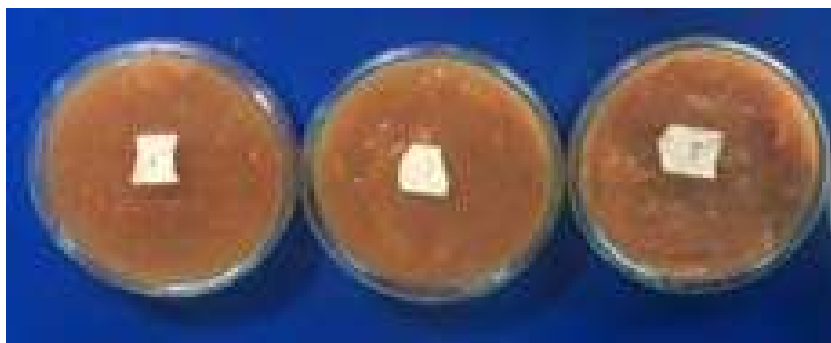


Figura 26: Glicerol.



Figuras 27 y 28: Formación de las biopelículas.

3.3 DETERMINACIÓN DEL % DE HUMEDAD DEL HUESO DE AGUACATE:

Para la determinación de humedad del hueso de aguacate se realiza el siguiente procedimiento:

1. Pesarse en tres recipientes de metal (en este caso aluminio) previamente tarados una muestra del hueso de aguacate como se muestra en la figura 10.
2. Colocar las charolas con la muestra en el horno a una temperatura de 100°C durante 24 horas.
3. Colocar las charolas con la muestra en el desecador, dejar enfriar a temperatura ambiente y pesarse como se muestran en las figuras 10 y 11 respectivamente.
4. Repetir el procedimiento indicado hasta obtener peso constante.
5. Realizar el cálculo de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{(P - P_1)}{P_2} * 100$$

Donde:

P = Peso del recipiente con la muestra húmeda, en gramos.

P_1 = Peso del recipiente con la muestra seca.

P_2 = Peso de la muestra en gramos.



Figura 29: Muestras de hueso de aguacate para determinación de la humedad



Figura 30: Muestras de hueso de aguacate en el desecador para determinación de humedad.



Figura 31: Pesado de muestras para determinación de la humedad del hueso de aguacate.

3.4 DETERMINACIÓN DEL % DE HUMEDAD DEL BIOPOLÍMERO:

Para la determinación de humedad del biopolímero plástico se realiza el siguiente procedimiento:

6. Pesarse en tres recipientes de metal (en este caso aluminio) previamente taradas una muestra del hueso de aguacate.
7. Colocar las charolas con la muestra en el horno a una temperatura de 100°C durante 24 horas.
8. Colocar las charolas con la muestra en el desecador, dejar enfriar a temperatura ambiente y pesar.
9. Repetir el procedimiento indicado hasta obtener peso constante.
10. Realizar el cálculo de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{(P - P_1)}{P_2} * 100$$

Donde:

P = Peso del recipiente con la muestra húmeda, en gramos.

P_1 = Peso del recipiente con la muestra seca.

P_2 = Peso de la muestra en gramos.

3.5 % DE RENDIMIENTO DEL ALMIDÓN:

Para el contenido de almidón en el hueso de aguacate se determinó el porcentaje de rendimiento de la extracción, de acuerdo con la ecuación siguiente:

$$\%R = \frac{W_1}{W_2} * 100$$

Donde:

R = Rendimiento de la extracción del almidón.

W_1 = Peso del almidón obtenido en gramos.

W_2 = Peso del hueso fresco de aguacate del cual se extrae el almidón en gramos.

3.6 DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DEL BIOPOLÍMERO PLÁSTICO:

Para la determinación de la densidad del biopolímero plástico se realiza el siguiente procedimiento:

1. Se toma una muestra del biopolímero plástico y se pesa en una balanza analítica.
2. En una probeta se coloca un volumen específico de agua.
3. Se sumerge completamente la muestra de biopolímero plástico en el agua.
4. Registrar cuánto sube el nivel del agua; este es el volumen del plástico en cm³.
5. Realizar el cálculo con la siguiente fórmula:

$$\rho = \frac{m}{v}$$

Donde:

ρ = Densidad

m = Masa del biopolímero plástico

V = Volumen

3.7 PRUEBAS DE BIODEGRADABILIDAD:

Al biopolímero plástico se le realizaron tres pruebas de biodegradabilidad, la primera fue a la intemperie, a temperatura ambiente, expuesto a la luz solar y a condiciones ambientales; para la segunda prueba se enterró en el suelo; durante la tercera prueba se colocó en un lugar oscuro a temperatura ambiente.

CAPÍTULO 4:

**CÁLCULOS Y DISCUSIÓN DE
RESULTADOS**

4.1 CÁLCULOS:

4.1.1 CÁLCULO DEL % DE HUMEDAD DEL HUESO DE AGUACATE:

Formula:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{(P - P_1)}{P_2} * 100$$

Donde:

P = Peso del recipiente con la muestra húmeda, en gramos.

P_1 = Peso del recipiente con la muestra seca.

P_2 = Peso de la muestra en gramos.

Tabla 8: Resultados del % de Humedad del hueso de aguacate.

| Muestra | Peso del recipiente (g) | Peso de la muestra húmeda (g) | Peso del recipiente con la muestra seca (g) | % Humedad |
|---------|-------------------------|-------------------------------|---|-----------|
| 1 | 0.5776 | 5.4551 | 3.2245 | 51.4784 |
| 2 | 0.5924 | 5.2900 | 2.9107 | 56.1748 |
| 3 | 0.4450 | 5.1500 | 2.7930 | 54.4078 |

Muestra 1:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{(0.5776 + 5.4551) - (3.2245)}{5.4551} * 100 = 51.4784 \%$$

Muestra 2:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{(0.5924 + 5.2900) - (2.9107)}{5.2900} * 100 = 56.1758 \%$$

Muestra 3:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{(0.4450 + 5.1500) - (2.7930)}{5.1500} * 100 = 54.4078 \%$$

Promedio de las tres muestras: 54.0207%

4.1.2 DETERMINACIÓN DEL % DE HUMEDAD DEL BIOPOLÍMERO PLÁSTICO:

Formula:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{(P - P_1)}{P_2} * 100$$

Donde:

P = Peso del recipiente con la muestra húmeda, en gramos.

P_1 = Peso del recipiente con la muestra seca.

P_2 = Peso de la muestra en gramos.

Tabla 9: Resultados del % de Humedad del biopolímero plástico.

| Muestra | Peso del recipiente (g) | Peso de la muestra húmeda (g) | Peso del recipiente con la muestra seca (g) | % Humedad |
|---------|-------------------------|-------------------------------|---|-----------|
| 1 | 0.5427 | 5.0397 | 4.6734 | 18.0368 |
| 2 | 0.5490 | 5.4210 | 4.9998 | 17.8971 |
| 3 | 0.5790 | 5.0012 | 4.6527 | 18.5455 |

Muestra 1:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{(0.5427 + 5.0397) - (4.6734)}{5.0397} * 100 = 18.0368 \%$$

Muestra 2:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{(0.5490 + 5.4210) - (4.9998)}{5.4210} * 100 = 17.8971 \%$$

Muestra 3:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{(0.5790 + 5.0012) - (4.6527)}{5.0012} * 100 = 18.5455 \%$$

Promedio de las tres muestras: 18.1598 %

4.1.3 % DE RENDIMIENTO DEL ALMIDÓN:

Formula:

$$\%R = \frac{W_1}{W_2} * 100$$

Donde:

R= Rendimiento de la extracción del almidón.

W_1 = Peso del almidón obtenido en gramos.

W_2 = Peso del hueso fresco de aguacate del cual se extrae el almidón en gramos.

Tabla 10: Resultados del % de Rendimiento del almidón.

| Muestra | Peso del almidón obtenido (g) | Peso del hueso fresco de aguacate (g) | % Rendimiento |
|---------|----------------------------------|--|---------------|
| 1 | 64.5691 | 200.9384 | 32.1338 |
| 2 | 67.1250 | 201.0328 | 33.3901 |
| 3 | 65.1002 | 205.2396 | 31.7191 |

Muestra 1:

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{64.5691}{200.9384} * 100 = 32.1338 \%$$

Muestra 2:

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{67.1250}{201.0328} * 100 = 33.3901 \%$$

Muestra 3:

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{65.7191}{205.2396} * 100 = 31.7191 \%$$

Promedio de las tres muestras: 32.4143 %

4.1.4 DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DEL BIOPOLÍMERO PLÁSTICO:

Formula:

$$\rho = \frac{m}{v}$$

Donde:

ρ = Densidad

m = Masa del biopolímero plástico en gramos

V = Volumen desplazado de agua en cm^3

Tabla 11: Resultados de la determinación de la densidad del biopolímero plástico.

| Muestra | Masa del biopolímero (g) | Volumen desplazado de agua (cm^3) | Densidad (g/cm^3) |
|---------|--------------------------|---------------------------------------|-----------------------|
| 1 | 5.2365 | 5.6 | 0.9351 |
| 2 | 5.1641 | 5.5 | 0.9389 |
| 3 | 6.1122 | 6.4 | 0.9550 |

Muestra 1:

$$Densidad = \frac{5.2365}{5.3} = 0.9351 \text{ g/cm}^3$$

Muestra 2:

$$Densidad = \frac{5.1641}{5.5} = 0.9389 \text{ g/cm}^3$$

Muestra 3:

$$Densidad = \frac{6.1122}{6.4} = 0.9550 \text{ g/cm}^3$$

Promedio de las tres muestras: 0.9430 g/cm^3

4.1.5 TIEMPO TARDADO DEL BIOPOLÍMERO EN DEGRADARSE:

Al biopolímero plástico se le realizaron tres pruebas de biodegradabilidad, en la primera prueba se dejó el biopolímero plástico a la intemperie, a temperatura ambiente y expuesto a la luz solar, el resultado de esta prueba fue que el biopolímero plástico comenzó a romperse y a desintegrarse en aproximadamente 4 meses.

Para la segunda prueba se enterró al biopolímero en el suelo, el resultado de esta prueba fue un tiempo de degradación de aproximadamente 3 meses y medio, ya que no es muy resistente a la humedad.

En la tercera prueba se colocó el biopolímero en un ambiente sin luz y a temperatura ambiente, el resultado fue una degradación de aproximadamente 4 meses y medio.

4.2 DISCUSIÓN DE RESULTADOS:

De acuerdo al proceso descrito anteriormente se puede obtener un biopolímero plástico con propiedades parecidas a la de los polímeros sintéticos, pero con la propiedad de ser completamente biodegradable y compostable.

Si comparamos la densidad obtenida del biopolímero, con la tabla 6 podemos observar que la densidad del biopolímero plástico resultante es muy comparable a la de los plásticos hechos a base del petróleo, esencialmente a la del polietileno.

Por otro lado, según los resultados de la ecuación No. 1 podemos observar que la cantidad de humedad presente en el hueso de aguacate es bastante alta, de alrededor del 54.0207%, lo cual afecta el rendimiento ya que la cantidad de almidón extraída es baja.

Para el contenido de almidón en el hueso de aguacate se determinó el porcentaje de rendimiento de la extracción, de acuerdo con la ecuación No. 3, para la cual se estableció que se puede extraer alrededor de un 32% en peso de almidón del hueso de aguacate por este método, lo cual representa un rendimiento bajo.

Ya una vez realizada la biopelícula, es importante medir el porcentaje de humedad de la misma ya que este nos indica su grado de biodegradabilidad, la cual de acuerdo a la ecuación No. 2 dio como resultado alrededor del 18% de humedad, lo cual lo hace altamente biodegradable.

Por otra parte, también se midió el tiempo de degradación de las biopelículas obtenidas a partir del almidón extraído anteriormente, la cual comienza a partir del cuarto mes de haberlas realizado en condiciones normales y esta aumenta al enterrar el biopolímero.

Tabla 12: Densidad de los polímeros más comerciales.

| Siglas | Material | Densidad (g/cm ³) |
|--------|------------------------------|-------------------------------|
| | Caucho de silicona | 0.8 |
| PP | Polipropileno | 0.85-0.92 |
| LDPE | Polietileno de baja densidad | 0.89-0.93 |
| | Caucho natural | 0.92-1.0 |
| HDPE | Polietileno de alta densidad | 0.94-0.98 |

| | | |
|------|---|-----------|
| PA | Nailon 12 | 1.01-1.04 |
| ABS | ABS Copolímeros de acrilonitrilo-butadieno-estireno | 1.04-1.06 |
| PS | Poliestireno | 1.04-1.08 |
| EP | Resinas epoxi | 1.1-1.4 |
| PMMA | Polimetacrilato de metilo | 1.16-1.20 |
| PVC | PVC plastificado (40%) | 1.19-1.31 |
| PC | Policarbonato | 1.20-1.22 |
| PUR | Poliuretanos entrecruzados | 1.20-1.26 |
| PF | Resinas de fenol-formaldehido | 1.26-1.28 |
| CA | Acetato de celulosa | 1.25-1.35 |
| | Celuloide | 1.34-1.40 |
| PVC | PVC rígido | 1.38-1.41 |
| MF | Melamina-formaldehido | 1.47-1.52 |
| UF | Polifloruro de vinilideno | 1.7-1.8 |
| PTFE | politrifluorcloroetileno | 2.1-2.2 |

CAPÍTULO 5:

CONCLUSIONES

5.1 CONCLUSIONES:

- Con el método descrito anteriormente se puede extraer almidón del hueso de aguacate, el cual se puede utilizar para distintos usos, en este caso para la obtención de biopolímeros plásticos.
- Se puede obtener un biopolímero plástico a base del almidón extraído del hueso de aguacate.
- Una vez concluida la elaboración del bioplástico a partir del almidón del hueso de aguacate por este método, es posible determinar la viabilidad de este proyecto, teniendo en cuenta que el hueso de aguacate actualmente es un desecho orgánico de muchas compañías empacadoras en el estado de Michoacán, por lo que su obtención es bastante económica, lo que nos permite obtener una alternativa a los plásticos blandos tradicionales, con un tiempo de degradación bastante inferior al de los mismos, disminuyendo así el impacto ambiental producido por la mala disposición final del plástico obtenido a base de petróleo.
- De acuerdo a los resultados obtenidos de la densidad del biopolímero plástico podemos determinar que es muy parecida a la de los polímeros a base del petróleo, lo que indica características similares entre ellos.
- El porcentaje de humedad del biopolímero plástico obtenido, el cual indica el grado de biodegradabilidad del mismo nos demuestra que el biopolímero se degrada fácilmente, con lo cual esta podría ser una buena alternativa para la problemática ambiental causada por los plásticos de un solo uso.
- Las propiedades mecánicas de los biopolímeros plásticos creados a base de almidón son inferiores a las de los polímeros extraídos del petróleo, lo que limita su uso.

CAPÍTULO 6:

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICA

6.1 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] Gil A. (2010) "Tratado de nutrición Tomo II Composición y Calidad Nutritiva de los Alimentos". Madrid, España: Editorial Medica Panamericana. Pp.101-102.
- [2] Fred, W. y Billmeyer Jr. (1975). "Ciencia de los polímeros". Barcelona, España: Editorial Reverté pp.3-14.
- [3] Fred, W. y Billmeyer Jr. (1975). Ciencia de los polímeros. Barcelona, España: Editorial Reverté pp.396-399.
- [4] Beltrán Rico Maribel y Marcilla Gomis Antonio (2012). Tecnología de Polímeros Procesado y Propiedades. San Vicente del Raspeig, España: Publicaciones de la Universidad de Alicante. Pp.17-27.
- [5] William D. Callister, Jr. (2007). "Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales". Barcelona España: Editorial Reverté. Pp 462
- [6] Peña A., Arrollo A., Gómez A. y Tapia R. (2004). "Bioquímica". Ciudad de México, México. UNAM. Editorial Limusa. Pp 143-144
- [7] Parker L. "Ahogados en un mar de plástico." Contaminación (2019).
- [8] Brown T., LeMay H. y Bursten B. (2004). "Química La ciencia central". México. UNAM. Editorial Pearson. Pp 456-465
- [9] Laza J.M., Pérez L., Ruiz L. "Estado cristalino y su estructura". Propiedades de los polímeros en estado sólido (2014).
- [10] Allinger N., Cava M., De Jongh D. Johnson C. Lebel N. y Stevens C. (1984) "Organic Chemistry" New York, EEUU. Ed. Reverté. Pp 941-944
- [11] Aldabe S., Bonazzola C., Aramendía P. y Lacreu L. (2004) "Química 2 química en acción" Buenos Aires, Argentina. Ed. Colihue. Pp 256-264.
- [12] Jiménez-Hernández J., Meneses-Esparza F., Rosendo-Escobar J., Vivar-Vera M. A., L. Bello-Pérez A. y García-Suárez F. J. "Extraction and characterization of starch from *Enterolobium cyclocarpum* sedes." Food (2011).

- [13] <https://materialesdeingenieriaiiisemestre.wordpress.com/>
- [14] Seymour R. (2002). "Polymer Chemistry, An Introduction, Third Edition" New York, EEUU. Ed. Reverté. Pp 2-6
- [15] Romero K. "Evolución histórica de los polímeros". Polímeros (2015).
- [16] Gillespie, Humphreys, Baird, Robinson. (19990). "Chemistry" Massachusetts, EEUU. Ed. Allyn and Bacon, Inc. Pp. 997-1012
- [17] Aqua (1990) "Plásticos en nuestra sociedad". Barcelona, España. Ed. Reverté. Pp. 31
- [18] Abigail de los Ángeles Rosales (2016). "Obtención de biopolímero plástico a partir del almidón de malanga (*Colocasia esculenta*), por el método de polimerización por condensación en el laboratorio 110 de la UNAN-Managua" (2016).
- [19] Kalpakjian S., Schmid S. (2002). "Manufactura, ingeniería y tecnología Cuarta edición". México. Ed: PEARSON EDUCATION. Pp:
- [20] GREENPEACE. "El plástico ha inundado nuestra vida diaria: podemos encontrarlo en envases de productos, ingredientes de cosméticos, el textil de la ropa, materiales de construcción y todo tipo de usos". Plásticos. (2019).
- [21] GREENPEACE. "Datos sobre la producción de plásticos". Plásticos. (2019).
- [22] GREENPEACE. "¿Cómo llega el plástico a los océanos y qué sucede entonces?". Plásticos. (2019).
- [23] Schwarz M. "El problema del plástico". Ciencia (2018).
- [24] Alarcón F., Dofour D. (1998). "Almidón agrio de yuca en Colombia; Tomo 1: Produccion y recomendaciones". Colombia. CIAT.
- [25] <https://pslc.ws/spanish/copoly.htm>
- [26] Textos científicos. "Clasificación de los Polímeros". Ciencia. (2018).