



FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA
AMBIENTAL

“POLÍMEROS BIODEGRADABLES COMO ALTERNATIVA PARA
REDUCIR LA PRODUCCIÓN Y EL CONSUMO DE
PRODUCTOS ELABORADOS CON PLÁSTICO”

Trabajo de investigación para optar el grado académico de:
Bachiller en Ingeniería Ambiental

Presentado por:

Maria Jose Loayza Limas (0000-0002-8410-3781)

Asesor:

Alfredo Néstor Salinas Castro ((0000-0001-5212-6113)

Lima – Perú

2019



RESOLUCIÓN DIRECTORAL ACADÉMICA DE CARRERA N°030-2021-DACIA-DAFCA-CIENTIFICA

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES / CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL

Lima 25 de enero de 2021

VISTO:

La revisión realizada y la aprobación de Trabajo de Investigación titulado: **POLÍMEROS BIODEGRADABLES COMO ALTERNATIVA PARA REDUCIR LA PRODUCCIÓN Y EL CONSUMO DE PRODUCTOS ELABORADOS CON PLÁSTICO**, presentado por:

- **María Jose Loayza Limas**

CONSIDERANDO:

Que, de acuerdo al Reglamento General de la Universidad Científica del Sur y los reglamentos de pregrado para obtener el grado de Bachiller de **Ingeniería Ambiental** en la **Facultad de Ciencias Ambientales**, se debe desarrollar un trabajo de investigación.

Que, de acuerdo a la normativa vigente de la Universidad Científica del Sur, en uso de las atribuciones conferidas al Director Académico de Carrera.

SE RESUELVE:

Aprobar e inscribir el trabajo de investigación titulado: **POLÍMEROS BIODEGRADABLES COMO ALTERNATIVA PARA REDUCIR LA PRODUCCIÓN Y EL CONSUMO DE PRODUCTOS ELABORADOS CON PLÁSTICO** con N° de registro de la carrera: **099-FCA-IAM**.

Nombrar al docente/colaborador **Alfredo Néstor Salinas Castro** como asesor de dicho trabajo de investigación.

Regístrese, comuníquese y archívese,

Mg. Gonzalo Francisco Flores Roca
Director Académico de Carrera
Ingeniería Ambiental

**POLÍMEROS BIODEGRADABLES COMO ALTERNATIVA PARA
REDUCIR LA PRODUCCIÓN Y EL CONSUMO DE PRODUCTOS
ELABORADOS CON PLÁSTICO**

Maria Jose Loayza Limas

Universidad Científica del Sur

100023170@ucientifica.edu.pe

Alfredo Néstor Salinas Castro

asalinas@TNC.ORG

RESUMEN

La actual producción excesiva del plástico, debido al elevado uso que se le da por su accesible aprovechamiento y fabricación, ha generado un problema ambiental de gran impacto. Causando preocupación en la sociedad ya que estos son extremadamente persistentes en el ambiente, además de que también se fragmentan en pequeños pedazos llamados microplásticos, los cuales debido a su tamaño se desplazan rápidamente a las fuentes principales de los recursos y son consumidos por los organismos que habitan estos y finalmente también por las personas que los utilizan o consumen estos alimentos contaminados, por lo que son altamente dañinos para los ecosistemas y el ser humano.

Para poder combatir este problema se vienen promoviendo y desarrollando alternativas accesibles para la sociedad, como la reducción, reuso, reciclaje y sobretodo la fabricación de bioplásticos compuestos por estructuras biodegradables obtenidas de distintas fuentes naturales, como enzimas, almidones, monómeros, proteínas, polisacáridos, etc., y así, poder reemplazar o reducir el uso de los fabricados con hidrocarburos. Los más usados son: El ácido poliláctico (PLA), el PCL (policaprolactona), el PHA (polihidroxialcanoatos), el TPS (Thermoplastic starch) y el PHV (polihidroxivaleriato).

Palabras clave: Biodegradabilidad, Plástico, Bioplásticos, Contaminación ambiental, Microplásticos, Polímeros, Hidrocarburos, Reemplazo

ABSTRACT

The current excessive production of plastic, due to the high use given to it by its accessible use and manufacture, has generated an environmental problem of great

impact. Causing concern in society since they are extremely persistent in the environment, in addition to also fragmenting into small pieces called microplastics, which due to their size quickly move to the main sources of resources and are consumed by organisms that They inhabit these and finally also by the people who use or consume these contaminated foods, so they are highly harmful to ecosystems and humans.

In order to combat this problem, alternatives accessible to society have been promoted and developed, such as reduction, reuse, recycling and above all the manufacture of bioplastics made up of biodegradable structures obtained from different natural sources, such as enzymes, starches, monomers, proteins, polysaccharides, etc., and thus, to be able to replace or reduce the use of those made with hydrocarbons. The most used are: Polylactic acid (PLA), PCL (polycaprolactone), PHA (polyhydroxyalkanoates), TPS (thermoplastic starch) and PHV (polyhydroxyvaleriate).

Keywords: Biodegradability, Plastic, Bioplastics, Environmental Pollution, Microplastics, Polymers, Hydrocarbons, Replacement

REVISIÓN TEÓRICA

I. INDUSTRIA DEL PLÁSTICO

1.1 Historia y situación actual del plástico

En la sociedad que vivimos, cuando surge un producto que brinda facilidad y accesibilidad a las personas, se busca aprovechar los beneficios que genera este al máximo, sin tomar en cuenta los impactos negativos que pueda traer consigo al ambiente y/o a la salud de las personas. Uno de los ejemplos más relevantes es el plástico (polímero sintético), que, desde su descubrimiento ha aumentado excesivamente su producción y consumo debido a la fácil fabricación, accesibilidad económica y utilidad que presenta (Inga, 2015).

Según Góngora (2014) el uso, producción y demanda de los productos fabricados con plásticos sintéticos aumento de manera exponencial posterior al siglo XIX, donde empezó la época de la Revolución Industrial, la cual generó el aumento acelerado de la población que buscaba mejorar el estándar de vida en las ciudades.

Los polímeros sintéticos tuvieron su emersión durante los años siguientes a la guerra, donde se desarrollaron diversos descubrimientos y empezó a desarrollarse esta industria, sin embargo, en el año 1953 un químico alemán llamado Karl Ziegler, fabricó el polietileno, mientras que, en 1954, un italiano llamado Giulio Natta, creó el polímero sintético más común hasta la actualidad, el cual es el plástico de un solo uso (Gomez, 2016).

Tras la Segunda Guerra Mundial el uso del plástico, ya fuese para la creación o sustitución de otros productos, se volvió más popular debido a su facilidad y bajo costo de moldeabilidad además del aumento excesivo del costo de producción de otros materiales, como la fundición de metales o producción de madera, por lo que esta industria remplazó y desplazó a las industrias metaleras, madereras y de fibras naturales, convirtiéndose en la alternativa más económica (Gomez, 2016).

Al inicio de la época de producción de plástico, la calidad de este era bastante precario y poco eficiente, debido a los pocos estudios que se habían desarrollado. Sin embargo, ya en el siglo XX, surgieron más estudios y comenzó a mejorar la calidad. A través de el paso de los años, con nuevos estudios, se introdujo el polietileno de alta densidad y una variedad de plásticos más livianos y de mejor moldeabilidad, como las fibras de vidrio y cartón, los cuales se utilizan en casi todos los productos cotidianos usados hoy en día, causando que el plástico sea parte esencial del ser humano en su vida cotidiana. Debido a la utilidad que presenta el plástico, el crecimiento de la industria ha sido muy elevado, generando nuevos descubrimientos, innovaciones y saciedad de las distintas necesidades, convirtiendo a los plásticos en un producto que de consumo masivo a nivel mundial (“K” feria mundial para la industria de plástico, 2019).

Actualmente la industria del plástico presenta un crecimiento estable y provechoso. Plastics Europe señala, que en el mundo, la producción de plásticos incremento de 245 millones de toneladas a 348 millones de toneladas entre el año 2006 y 2017. Se presentó un 3,9% de aumento en el último año, manteniendo la tendencia que se presentó en los años previos (4% en 2016 y 3,5% en 2015). Se estima que la producción de plásticos seguirá en aumento llegando a 500 millones de toneladas en el año 2020 (Greenpeace, 2016).

Se proyecta que, en el 2021, el mercado mundial de empaques fabricados a base de plástico, recaudará más de 1 trillón de dólares, presentando un crecimiento entre 5% y 7% en subcontinentes en proceso de crecimiento como el Oriente Medio, sectores de América del sur y África del Norte (Leblanc, 2019).

1.2 Definición de plástico

El término “Plástico” se aplica en su mayoría para aludir a la fabricación de distintos productos, debido a esto se utiliza el término “Polímero”, para darle una mejor definición. Se define a un polímero como el material formado por distintas unidades

que se denominan “Monómeros”, estos son moléculas que presentan bajo peso molecular y que se pueden unir con otras moléculas pequeñas, diferentes o iguales, formando macromoléculas de largas cadenas que se conocen como los polímeros. La palabra plástico denota que se tiene capacidad de ser moldeado por el calor (Cambiotec, 2018).

Los plásticos, conocidos también como “plásticos de un solo uso o desechables”, no se corroen ni se oxidan, a diferencia de los metales. Sin embargo, la mayoría de estos, al ser sintéticos, no presentan capacidad de biodegradabilidad ni rápido nivel de degradación, sino un proceso llamado fotodegradación, es decir, se descomponen en pequeños fragmentos, siendo algunos casi imperceptibles para el ser humano, denominados “microplásticos”, los cuales terminan siendo consumidos por animales o por el propio ser humano.

Los usos más comunes y de mayor escala que se le suele dar a los productos plásticos hoy en día, son artículos como envases, bolsas de supermercado, botellas, pajillas, recipientes, vasos y cubiertos (ONU, 2018).

1.3 Composición del plástico (polímeros)

Además de la capacidad de ser livianos y económicos, los plásticos presentan características excelentes de resistencia, las cuales se ven reflejadas en lo complicado que es desgarrarlo o romperlo, de corroerse a altas temperaturas y por la capacidad para aislar energía eléctrica. Los polímeros se forman mediante el proceso de polimerización, en donde, por medio de enlaces químicos, se unen entre sí monómeros derivados del petróleo o del gas organizándose en cadenas de diferentes longitudes (Thompson et al., 2009).

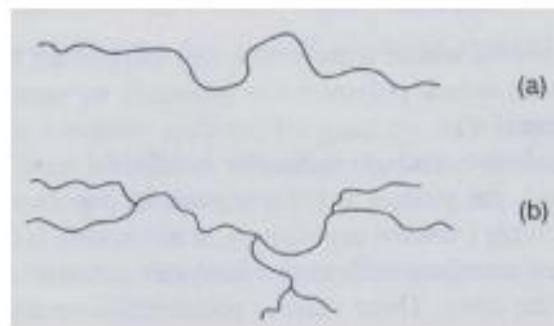
Entre los subproductos que se encuentran producidos por las ligeras mezclas para obtención de hidrocarburos surge la nafta, el cuál es un líquido muy inflamable transformado para la obtención de alquenos y alcanos, como por ejemplo el etileno

o el propileno, los cuales son unos de los monómeros más utilizados para la producción de plásticos (“Hydrocarbon gas liquids explained”, 2019).

Las propiedades mecánicas y transiciones térmicas del material son definidas por las interacciones entre las moléculas, estas son caracterizadas por los átomos que componen lo monómeros, la organización que presentan durante la formación del polímero y el peso molecular de estos.

Las cadenas que conforman los polímeros tienen una estructura principal (polímeros lineales) que incluyen la presencia de carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno o azufre a la cual se pueden añadir o incorporar distintos aditivos químicos generando interacciones secundarias, formando ramificaciones (polímeros ramificados) que favorecen y mejoran sus propiedades; el material presentará mayor resistencia a cambiar de estructura, mientras haya mayor interacción entre cadenas (Tunjano, 2008).

Figura 1: Polimeros lineales (a) y ramificados (b)



Fuente: (Stevens, 1999, pg 8)

Otra manera de obtener los polímeros es usando la fracción gaseosa que se obtiene de la destilación del petróleo, que se obtiene de la mezcla de hidrocarburos extraídos de yacimientos (“Hydrocarbon gas liquids explained”, 2019).

1.4 Tipos de plástico

Para reconocer los tipos de plástico, la ONU (2018) ha determinado dos categorías, las cuales son:

- **Termoplásticos:** Se definen como los plásticos que, al exponerse a altas temperaturas, son propensos a derretirse y a bajas temperaturas, a endurecer. El nombre del material deriva de estas características, las cuales son reversibles. Es decir, que tienen la capacidad para congelarse, recalentarse y reformarse distintas veces. Dentro de esta clasificación se encuentran: El Tereftalato de Polietileno (PET), Polietileno (PE), Polietileno de Baja Densidad (PEBD), Polietileno de Alta Densidad (PEAD), Poliestireno (PS), Poliestireno expandido (EPS), Cloruro de polivinilo (PVC), Policarbonato, Polipropileno (PP), Ácido Poliláctico, Polihidroxialcanoatos (PHA). (ONU, 2018)
- a. **Termoestables:** Se les define como los plásticos que, al calentarse, se descomponen químicamente, debido a que en su producción se produce una reacción de fraguado, por lo que no se pueden volver a moldear. Dentro de esta categoría se encuentran:
 - Poliuretano (PUR)
 - Resinas Fenólicas
 - Silicona
 - Resinas acrílicas
 - Urea-formaldehído (Cedrón, et al., 2011).

II. CONTAMINACIÓN DEL AMBIENTE POR PLÁSTICO

2.1 Contaminación ambiental

Según un estudio publicado el 2010, se produjo un aproximado de 274 millones de toneladas de residuos plásticos durante ese año, de los que, 4 a 12.7 millones de toneladas acabaron en el océano. (Jambeck et. al., 2015).

Durante el 2005, el PNUMA (Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente), señaló que se encontraron aproximadamente 13000 microplásticos (partículas), incluyendo los PET en el fondo del mar y a flote, los cuales, según científicos de la

Scripps Institution of Oceanography, han tenido un aumento de 100 veces en las últimas cuatro décadas, presentado en su estudio sobre los efectos en los ecosistemas marinos por causa del aumento de restos plásticos. También señalan que las principales causas de intoxicación y muerte de los animales marinos, por la ingestión de fragmentos de residuos plásticos presentes en los océanos, como por ejemplo las tortugas, aves, lobos marinos, etc., que confunden los pedazos de plástico con comida, acumulándolos en su cuerpo o atragantándose, causándoles la muerte; la cantidad de este material en el mar puede llegar a ocupar un área tan grande como la de un país como España. (Gómez, 2016).

Otra consecuencia que ha traído consigo la contaminación marina por residuos plásticos, es el aumento de insectos similares a los zancudos, pero de agua marina, los cuales usan las capas de residuos plásticos flotantes para colocar sus huevos.

Por otro lado, los microplásticos también están presentes en el suelo, debido su lenta capacidad de degradación, generando que las sustancias químicas presentes en su composición alteren la estructura de la calidad del suelo que se usa para la agricultura (Ahmed, et al., 2017),

2.2 Impactos negativos a la salud

El impacto más perjudicial en la salud y calidad de vida de los seres humanos a causa de los microplásticos presentes en océanos y suelos agrícolas, se da por medio de la cadena alimenticia, cuando consumen alimentos que contienen restos de estos (Sarría, Gallo, 2016).

Estos microplásticos, que presentan un ligero grado de toxicidad son absorbidos por el tracto gastrointestinal o retenidos en el cerebro, afectando el Sistema nervioso central y el Sistema reproductivo (Waring, et al., 2018).

En cuanto a los plásticos de uso diario, se han realizado estudios donde se muestra la presencia de sustancias químicas tóxicas presentes en su composición, las cuales pueden tener efectos negativos en el sistema humano (Cressey, 2008).

III. ALTERNATIVAS BIODEGRADABLES PARA LA REDUCCIÓN DE PRODUCCIÓN DE PLÁSTICO

Debido a la cantidad excesiva de plástico de un solo uso que se produce y a la generación desmedida de contaminación, se vienen desarrollando distintos estudios de alternativas y soluciones para poder reemplazar la composición para fabricar el plástico.

Las soluciones al problema más accesibles para realizar, son la reducción, reutilización y reciclaje del plástico, pero se necesita un cambio radical para lograr un impacto notable en los desechos plásticos que se filtran en nuestro ambiente. La respuesta podría ser un renovado plástico en el que se usen polímeros biodegradables que reemplacen a los plásticos convencionales.

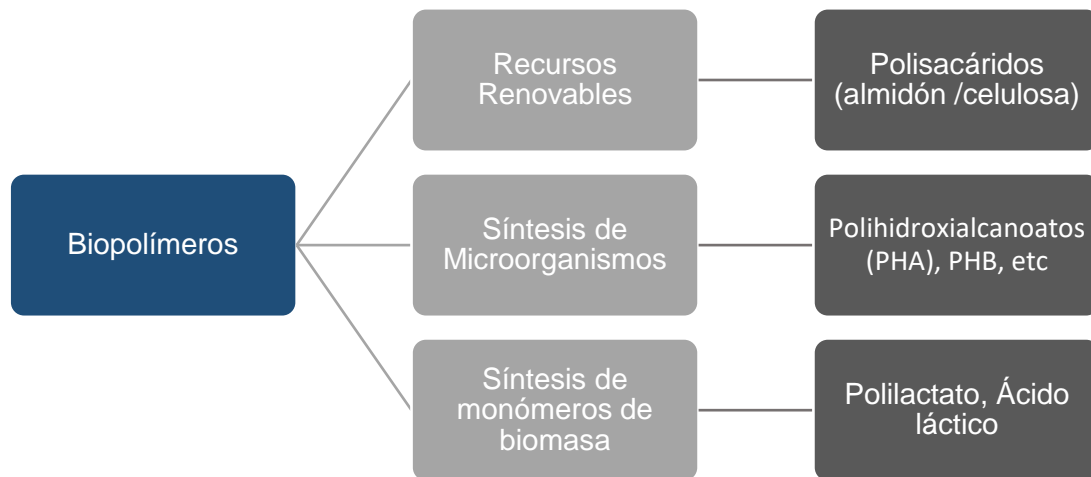
3.1 Polímeros biodegradables

Los polímeros biodegradables se definen como materiales que, mediante la acción de microorganismos sobre estos, presentan la capacidad de descomponerse en moléculas más pequeñas como CO₂, CH₄ y H₂O, ya sea en condiciones aeróbicas, anaeróbicas o por medio de reacciones químicas abióticas, las cuales pueden ser: la hidrólisis, fotodegradación u oxidación. Existen distintos tipos de polímeros biodegradables, pudiendo variar sus componentes o materia prima. Estos se pueden producir a base de plantas, animales u microorganismos (Springler, 2018).

3.2 Clasificación de polímeros biodegradables según su fuente

Brito, Agrawal, Araújo y Mélo (2011) señalan que la clasificación de los biopolímeros se da por la fuente de obtención. En la siguiente figura (Figura 2) se presenta un flujograma que contiene la clasificación de estos.

Figura 2: Clasificación de los biopolímeros



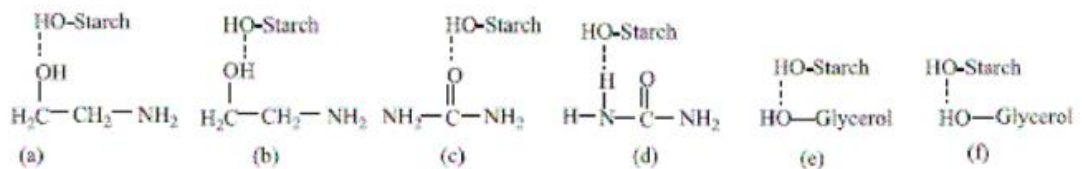
a. Biopolímeros basados en recursos renovables:

Dentro del grupo de polisacáridos de recursos renovables como fuente, se tiene al almidón y a la celulosa. En cuanto al almidón, es un polímero que tiene alta aptitud de uso para la fabricación de materiales biodegradables (biopolímeros). Se conforma mediante la mezcla de la amilosa y amilopectina; ambos son polímeros, sin embargo, la amilosa se considera como una molécula lineal, mientras que la amilopectina como una molécula ramificada. Normalmente la composición de los almidones más frecuentes es de 75% de amilopectina y 25% de amilosa (Otey y Doane, 1984).

Para mejorar la biodegradabilidad y su fácil proceso, se combinan poliésteres alifáticos con almidón, siendo los más factibles la policaprolactona (PCL) y poliésteres alifático-aromáticos. Por otro lado, se buscaba darle uso como reforzante al almidón en elastómeros de poliuretano (PU). A pesar de ser una muy buena opción, presenta ciertas deficiencias por su baja resistencia a la humedad, falta de compatibilidad con algunos polímeros hidrofóbicos y difícil procesabilidad (Tabi, Sajo, Szabo, Luyt y Kovacs, 2010). Debido a esto, se han desarrollado investigaciones para superar o mejorar estas limitaciones las cuales pueden ser realizar cambios en la estructura del almidón, combinar diferentes polímeros biodegradables, añadir compatibilizantes como fibras o arcillas reforzantes.

Una de las alternativas más usadas, es la modificación al almidón (polímero natural) mediante el añadido de plastificantes, procesándolo en condiciones que presenten baja presión y reducido calor hasta que se logre desaparecer por completo el cristal de la estructura y conseguir la obtención del almidón termoplástico (TPS). Para poder conseguir un TPS óptimo, los agentes plastificantes deben ser capaces de generar puentes de Hidrógeno al estar en contacto con las cadenas de almidón para poder remplazar las interacciones de los grupos hidroxilo Ma, Yu, Wan (Citado en Tunjano, 2008).

Figura 3: Puentes de hidrógeno entre moléculas de almidón y plastificante



Fuente: Ma (Citado en Tunjano, 2008)

a y b) Etanolamina, c y d) Úrea, d y e) Glicerol

El TPS en comparación a los plásticos convencionales presenta propiedades de procesamiento y propiedades mecánicas similares, sin embargo también presenta desventajas que limita algunos usos como para empaquetados (Valero-Valdivieso, Ortegón y Uscategui, 2013).

Para mejorar la resistencia y propiedades química-mecánicas, se han generado otros procesos de reforzamiento, tales como la incorporación rellenos naturales de refuerzo (fibras celulósicas o nanoarcillas) en la matriz termoplástica; aplicación de procesos de retrogradación o recristalización, los cuales Goñi, Escribano, Merodio (2007) indican que se dan por la formación de hélices dobles entre moléculas cortas de amilopectinas liberadas durante el proceso de obtención de TPS y la aplicación del proceso de gelatinización, que según Tunjano (2008)

se basa en calentar la mezcla de almidón y plastificante a temperaturas bastante elevadas y generar hinchazón en el gránulo del almidón.

En cuanto a la celulosa como base de formación de biopolímeros, (Gallur, 2010) señala que:

Está formada por la unión de moléculas de β -glucosa mediante enlaces β -1,4-O-glucosídicos; su pared celular está compuesta por fibras compactas originadas por grupos hidroxilo (OH) unidos por medio de puentes de hidrógeno. Presenta una estructura tipo lineal.

La celulosa se puede encontrar en un nivel alto de pureza dentro del algodón; mientras que dentro de la madera se encuentra disponible aglomerado otros polisacáridos como la lignina. También se encuentra presente en bacterias, ambas poseen igual estructura química, sin embargo, difieren en sus características fisicoquímicas (Tunjano, 2008). La celulosa natural se modifica químicamente para obtener los polímeros con fuente de celulosa. Los más conocidos y usados son el acetato de celulosa, éster de celulosa, celofán, y los biomateriales compuestos de celulosa. En cuanto a bacterias, estas suelen producir celulosa con el fin de protegerse de acciones mecánicas o químicas, además de permitir que células se adhieran a otros tejidos fácilmente. La industria de celulosa es bastante concurrida, con excepción de la celulosa producida por bacterias (Römling, 2012).

b. Biopolímeros extraídos a partir de la síntesis de monómeros de biomasa:

En cuanto a los biopolímeros extraídos a partir de la síntesis de monómeros se tienen a los aceites vegetales y al ácido poliláctico.

En cuanto a los aceites a base de vegetales, actualmente son considerados como uno de los más convenientes para la extracción de biopolímeros, pudiendo ser obtenidos de plantas y mayormente se componen por triglicéridos. Se define como triglicérido al resultado de la unión entre una molécula de glicerol y tres moléculas

de ácidos grasos (éster). Los triglicéridos son moléculas de alto funcionamiento y son usados en la síntesis de polímeros mediante dos métodos. El primero, se basa en el aprovechamiento de grupos funcionales presentes en los triglicéridos, como por ejemplo los alcoholes, dobles enlaces internos o epóxidos, los cuales a través de distintos métodos pueden ser polimerizados. El segundo se basa en mejorar la baja reactividad que presentan los triglicéridos naturales previas a la polimerización, mediante en modificaciones químicas introduciendo grupos funcionales que se polimerizan fácilmente (Montero de Espinosa y Meier, 2011).

Como ejemplo para los aceites de triglicéridos usados para la obtención de biopolímeros se tiene el de higuera, girasol, soja y palma. Un factor importante que influye en las características y propiedades del polímero es la elección del aceite vegetal, ya que con respecto a los ácidos grasos que contenga su estructura, varían sus propiedades físicas y químicas. Ciertos polímeros elaborados por medio de aceites de triglicéridos son, poliamidas poliésteres, poliéster amidas, poliuretanos, resinas acrílicas, resinas epoxi (Çayli y Küseföglü, 2008). Un aceite vegetal que ha captado el interés es el de higuera, debido a que su composición se contrae aproximadamente a un solo componente, el cual es el triglicérido del ácido ricinoleico, presente en un 90% aproximadamente, este aceite se considera como un importante reactante en la síntesis de poliuretanos gracias a su composición, funcionalidad y estructura química (Valero-Valdivieso, et.al., 2013).

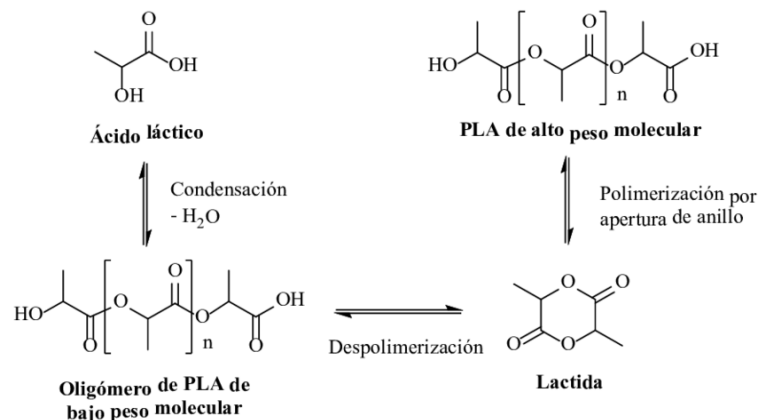
En cuanto al (poli) ácido láctico (PLA). (Ardila, Estupiñán, Vásquez y Peña, 2011) indica que:

Deriva de materias primas renovables, se produce a base de ácido láctico (Figura 4). Es un polímero sintético termoplástico y pertenece a la familia de poliésteres alifáticos. El ácido láctico es un ácido orgánico que se está presente en la naturaleza en forma de L (+) o D (-) y puede ser producido

por fermentación anaerobia entre bacterias, hongos y substratos que contengan carbono, ya sean puros (glucosa, lactosa) o impuros (almidón, mezclas).

Se puede obtener polímeros de bajo peso molecular (PM < 10.000) por la síntesis de moléculas de PLA mediante procesos de polimerización por medio de la condensación de ácido láctico a temperaturas mayores de 120°C. Para obtener polímeros de alto peso molecular, se debe tener dímeros cíclicos del ácido como material de partida, en combinación de catalizadores y condiciones controladas de temperatura y presión (Weng, Jin, Meng, Wang, Zhang y Wang, 2013).

Figura 4: Síntesis de poliácido láctico (PLA)



Fuente: (Ramos y Gil, 2017)

Como ventajas, el PLA es un material que se puede biodegradar, reciclar y compostar, ya que en condiciones de compostaje puede degradar el dióxido de carbono, agua y otras pequeñas moléculas (Rasal, Janorkar y Hirt, 2010). También es biocompatible, ya que no causa efectos cancerígenos, nocivos o con alto nivel de toxicidad en los tejidos. Este puede trabajarse por inyección o extrusión de película o ser moldeado. Por otro lado, el PLA se considera como un proceso ahorrador, ya que para su producción se requiere un 30-50% menos energía que la usada para la fabricación de polímeros comunes a base de petróleo (Tunjano, 2008).

Sus propiedades mecánicas se consideran mejores comparadas con otros polímeros termoplásticos (como el PET) (Mutlu y Meier, 2010). Además, sirve como barrera frente a olores, sabores y presenta elevada resistencia ante aceites y grasas, por lo que es ideal para envases que contengan aceites u otros productos que sean secos (Gupta, Revagade y Hilborn, 2007).

Para obtener mejores propiedades del PLA, se añaden agentes plastificantes u otros polímeros para modificar la estructura (Tunjano, 2008).

c. Biopolímeros extraídos a partir de la síntesis de microorganismos:

Dentro de la síntesis por microorganismos se encuentra el Poli(hidroxicanoatos) (PHA). Estos son poliésteres que se sintetizan a raíz de ciertas bacterias que mediante gránulos intra-citoplasmáticos los acumulan para usarlos como reserva de carbono y energía, se producen a través de la fermentación de materias primas renovables (Mutlu y Meier, 2010). Los PHA son producidos por medio del microorganismo que genera una fermentación directa a través de una fuente de carbono; estos se consideran dentro de las alternativas potenciales para los polímeros de fuente petroquímica, ya que se reducen a CO₂ y H₂O de manera aeróbicamente o a metano anaeróbicamente por medio de microorganismos, por acción de las enzimas PHA hidrolasas y PHA despolimerasas y (Tunjano, 2008).

Actualmente existen más de 150 tipos de PHA, debido a que los monómeros que los componen se puede adecuar con el fin de aumentar la biocompatibilidad y mejorar las propiedades para el uso final y de degradación (Lim, Auras y Rubino, 2008). Los PHA presentan una elevada capacidad de polimerizarse, además de cristalinizarse en un rango de 60 a 80%, se consideran insolubles en agua, activos óptimamente e isostáticos. Debido a sus características, se consideran competencia para el polipropileno u otros plásticos que tienen como materia prima el petróleo. Sin embargo, al presentar elevados costos de producción comparados

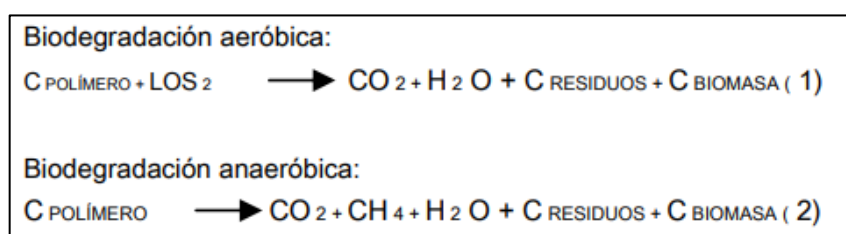
con los de los plásticos comunes, su fabricación y uso hoy en se encuentra limitado.

3.2 Biodegradabilidad

La biodegradación, según Jarry (2012), se clasifica como un evento puramente natural, que se lleva a cabo a través de la acción química de los organismos vivos en el medio ambiente (bacterias, hongos, líquenes y algas), utilizando el carbono presente en los bioelementos como fuente de energía o "alimento" para su propio crecimiento y metabolismo.

Según la ASTM el término biodegradable define a todos los materiales que se descomponen en presencia de CO₂, H₂O, CH₄, compuestos inorgánicos o biomasa, en donde la descomposición principal se da por medio de microorganismos que desarrollan acciones enzimáticas, por lo que la biodegradación se define como la degradación de materiales orgánicos provocada por acciones biológicas, siendo la principal la acción enzimática de microorganismos. La biodegradación puede ocurrir tanto en presencia como en ausencia de oxígeno, biodegradación aeróbica y anaeróbica respectivamente.

Figura 5: Reacciones de biodegradación aeróbica y anaeróbica



Fuente: ASTM

Para evaluar la biodegradabilidad se han diseñado distintas pruebas para cuantificar la persistencia en ambientes naturales e industriales, siendo algunas convertidas en

normas para garantizar resultados confiables sin importar el lugar de desarrollo (ASTM, 2012).

CONCLUSIONES

- Teniendo tantas opciones de polímeros naturales, los bioplásticos fabricados a base de materiales naturales, son una alternativa bastante considerable para poder reemplazar los plásticos comunes fabricados con hidrocarburos.
- La industria de los biopolímeros tiene como reto generar una producción competitiva en cuanto a los costos de producción de los polímeros tradicionales a base de petróleo e ir mejorando la calidad del producto por medio de más investigaciones que incluyan la mejora de bacterias, el reuso de subproductos generados en las industrias como materia prima, nuevos o renovados diseños de biorreactores, mejora en la operación del proceso, la aplicación y biodegradabilidad de los biopolímeros.
- Se puede considerar como los más económicos y rentables a los biopolímeros producidos a base de almidón, ya que para su producción se requieren materias de de bajos costos y con técnicas y procesos productivos más sencillos, sin embargo, falta desarrollar más esta línea para mejorar su resistencia por medio de sus propiedades mecánicas, físicas, químicas y con esto poder hacerle competencia a los otros biopolímeros y los plásticos comunes.
- Un factor importante para poder implementar en la industria la producción de los biopolímeros es la concientización e interés por parte de los consumidores y la población en cuanto a estos materiales, que se pueden usar en productos domésticos, tecnológicos, etc. y las ventajas que traería consigo hacia el medio ambiente y sus ecosistemas, como la disminución exponencial de contaminación por plásticos o el ahorro energético, además de generar una mejora en la calidad de vida de los seres humanos.

- El uso y desarrollo de nuevas tecnologías son importantes para elaboración de los bioplásticos, ya que mediante estas se les puede moldear a la forma deseada de acuerdo a su composición y uso.
- Se deben desarrollar más estudios en cuanto a la mejora de las propiedades de estos biopolímeros, incentivando a los estudiantes e investigadores enfocarse en esta rama. Para con esto poder llegar a conseguir un producto sostenible y accesible a las personas, que no se convierta en otro punto que genere impactos negativos a los recursos naturales, ya que, al ser estos materiales de fuentes naturales, la excesiva producción de algunos como por ejemplo del almidón o madera conllevaría a deforestaciones o excesivo uso de los suelos para plantaciones.

IV. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ali Z., Abid, S., Ibrahim M., (2018). Polyhydroxyalkanoates: Characteristics, production, recent developments and applications. *International Biodeterioration & Biodegradation*, (126), 45-56. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2017.10.001>.
- Andrady, A. (2011). Microplastics in the marine environment. *Mar Pollut Bull*, (8), 1596–1605. doi: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.05.030>
- Asociación Española de Normalización y Certificación. (2013). Plásticos: Determinación de la biodegradabilidad aeróbica última en el suelo mediante la medición de la demanda de oxígeno en un respirómetro o bien mediante la cantidad de dióxido de carbono generada (ISO 17556:2012). Recuperado de: <https://www.aenor.com/normas-y-libros/buscador-denormas/UNE?c=N0051786>
- Ardila, L., Estupiñán, H., Vásquez, C. y Peña, D. (2011). Estudio de la biodegradación hidrolítica de recubrimientos de biopolímeros/cerámico. *Revista de Ingeniería*, (35), 41-46.
- Avérous, L. (2004). Biodegradable multiphase systems based on plasticized starch: a review. *Journal of Macromolecular Science*, 44 (3), 231-274.
- Barnes, D., Galgani, F., Thompson, R., Barlaz, M. (2009). Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments. *Philos Trans R Soc B: Biol Sci*, volumen (364), 1985-1998. doi:<https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0205>
- Brito, G. F., Agrawal, P., Araujo, E. M. Melo, T. J. A. (2011). Biopolímeros, polímeros biodegradables y polímeros verdes. *Revista Electrónica de Materiales e Procesos*, (6), 127-139.

- Çayli, G. and Küseföglu, S. (2008). Biobased polyisocyanates from plant oil triglycerides. *J Appl Polym Sci*, 109 (5), 2948-2955.
- Cedron, J., Landa, V. y Robles, J. (2011). *Química General*. Material de enseñanza. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú. Recuperado de: <http://corinto.pucp.edu.pe/quimicageneral/contenido/balancear-una-ecuacion-quimica>
- Cressey, D. (2008). More biologists report plastic contamination. *Nature*, (5). doi:10.1038/news.2008.1291
- Estupiñan, H., Laverde, D., Peña, D. y Vásquez, C. (2007). Comportamiento electroquímico de un recubrimiento: Ácido d poli llactico–biovidrio, en suero ringer. *Scientia et Technica*, 36 (4), 261-265.
- Eriksen M, Lebreton LCM, Carson HS, Thiel M, Moore CJ, et al. (2014) Plastic Pollution in the World's Oceans: More than 5 Trillion Plastic Pieces Weighing over 250,000 Tons Afloat at Sea. *PLOS ONE*, (9). Recuperado de: <https://journals.plos.org/plosone/article/comments?id=10.1371/journal.pone.0111913>
- Gallur, M. (2010). Presente y futuro de los biopolímeros como material de envase. *Itene easy fairs*, 1-51.
- Goñi, O., Escribano, M.I., Merodio, V. (2007). Gelatinization and retrogradation of native sarch from cherimoya fruit during ripening, using differential scanning calorimetry. *LWT- Food Science and Technology*, doi: 10.1016/j.lwt.2007.03.009

- Gupta, B., Revagade, N. and Hilborn, J. (2007). Poly (lactic acid) fiber: An overview. *Progress in polymer science*, 32 (4), 455-482.
- Lim, L., Auras, R. and Rubino, M. (2008). Processing technologies for poly(lactic acid). *Progress in Polymer Science*, 33 (8), 820-852.
- Montero de Espinosa, L. and Meier, A.R. (2011). Plant oils: The perfect renewable resource for polymer science. *European Polymer Journal*, 47 (5), 837-852.
- Mutlu, H. y Meier, M. (2010). Castor oil as a renewable resource for the chemical industry. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 112 (1), 10-30.
- Otey, F.H. y Doane, W.M. (1984). Chapter XI - chemicals from starch. *Eds Starch: Chemistry and technology*, 2, 389-416.
- Plasticseurope. (2012). *Plastics-the Facts 2012*. España: European plastic products. Demand and Waste Data for 2011. Recuperado de: http://www.plasticseurope.org/documents/document/20121120170458-final_plasticsthe-facts_nov2012_en_web_resolution.pdf.
- Rasal, R.M., Janorkar, A.V. and Hirt, D.E. (2010). Poly(lacticacid) modifications. *Progress in Polymer Science*, 35 (3), 338-356.
- Römling, U. (2002). Molecular biology of cellulose production in bacteria. *Res Microbiol*, 153 (4), 205-212.
- Ryan, P., Moore, C., Vanfraneker, J. & Moloney, C. (2009). Monitoring the abundance of plastic debris in the marine environment. *Philos. Trans. R. Soc. Lond*, (364), 1999-2012. Recuperado de:

https://www.researchgate.net/publication/313468624_Mar_del_plastico_una_revision_de_los_problemas_del_plastico_en_el_mar

Saad B., Suter, U. (2001). *Biodegradable Polymeric Materials*, 551-555

doi: <https://doi.org/10.1016/B0-08-043152-6/00105-4>.

Springler, N. (2018). The future of plastic. *Nat Commun*, (9) doi:10.1038/s41467-018-04565-2.

Tabi, T., Sajo, I., Szabo, F., Luyt, A. and Kovacs, J. (2010). Crystalline structure of annealed polylactic acid and its relation to processing. *Express Polym Lett*, 4 (10), 659-668.

Thompson, R., Olsen, Y., Mitchell, R., A., Rowland, S.J, John, A. (2004). Lost at sea: where is all the plastic?. *Science*, (15), 304-838. doi:10.1126/science.1094559

Tunjano, M. V. (2008). *Estudio de las propiedades termicas y mecanicas del almidon termoplastico (tps) reforzado con nanoarcilla*. Recuperado de: <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/24254/u364993.pdf?sequence=1>

Valero-Valdivieso, M. F., Ortegón, Y. y Uscategui, Y. (2013). Biopolímeros: Avances y perspectivas. *DYNA (Colombia)*, 80(181), 171–180.

Waring, R., Harris, M., & Mitchell, S. (2018). Plastic Contamination of the Food Chain: A Threat to Human Health?. *Maturita*, (115). doi: 10.1016/j.maturitas.2018.06.010.

Weng, Y.X., Jin, Y.J., Meng, Q.Y., Wang, L., Zhang, M. and Wang, Y.Z. (2013). Biodegradation behavior of (PBAT), (PLA), and their blend under soil conditions. *Polym Test*, 32 (5), 918-926.