

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



Una Institución Adventista

**Biodegradación de polietileno de baja densidad
mediante un consorcio microbiano a condiciones
anaerobias y aerobias**

Por:

Cristina De La Cruz Orihuela

Allisson Arone Valencia

Docente:

Mag. Joel Hugo Fernández Rojas

Lima, julio de 2020

DECLARACIÓN JURADA DE AUTORIA DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Mag. Joel Hugo Fernández Rojas, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que el presente trabajo de investigación titulado: ***“Biodegradación de polietileno de baja densidad mediante un consorcio microbiano a condiciones anaerobias y aerobias”*** constituye la memoria que presenta los **estudiantes Cristina De La Cruz Orihuela y Allisson Arone Valencia** para aspirar al grado de bachiller en Ingeniería Ambiental, cuyo trabajo de investigación ha sido realizado en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este informe son de entera responsabilidad del autor, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente constancia en Lima, a los 18 días de agosto del año 2020.



Mag. Joel Hugo Fernández Rojas

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

En Lima, Ñaña, Villa Unión, a.....30..... día(s) del mes de.....julio.....del año..2020...siendo las....11:30....horas,
se reunieron los miembros del jurado en la Universidad Peruana Unión campus Lima, bajo la dirección del (de la) presidente(a):
.....PhD. Leonor Segunda Bustinza Cabala.....,el(la) secretario(a):
..... Mg. Jackson Edgardo Perez Carpio..... y los demás miembros:
..... Ing. Nancy Curasi Rafael, Mg. Ronald Hugo Rosales Meza.....
.....y el(la) asesor(a) Mg. Joel Hugo Fernandez Rojas
.....con el propósito de administrar el acto académico de sustentación del trabajo de
investigación titulado:Biodegradación de polietileno de baja densidad mediante un consorcio
microbiano a condiciones anaerobias y aerobias.....
.....
.....de los (las) egresados (as): a) Allisson Arone Valencia.....
.....b) Cristina De La Cruz Orihuela.....
.....conducente a la obtención del grado académico de Bachiller en
.....Ingeniería Ambiental.....
(Denominación del Grado Académico de Bachiller)

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando.....a las..... candidato(a)/s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por.....las..... candidato(a)/s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Candidato/a (a): Allisson Arone Valencia.....

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
APROBADO	17	B+	Muy Bueno	Sobresaliente

Candidato/a (b): Cristina De La Cruz Orihuela.....

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
APROBADO	17	B+	Muy Bueno	Sobresaliente

(*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó.....a las.....candidato(a)/s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

Presidente/a



Secretario/a

Asesor/a

Miembro

Miembro



Candidato/a (a)



Candidato/a (b)

Biodegradación de polietileno de baja densidad mediante un consorcio microbiano a condiciones anaerobias y aerobias

Biodegradation of low-density polyethylene through a microbial consortium under anaerobic and aerobic conditions

Arone Valencia Allisson*, De la Cruz Orihuela Cristina

EP. Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Peruana Unión

Resumen

La biodegradación de Polietileno de Baja Densidad (PEBD) a través de microorganismos a condiciones controladas viene siendo una alternativa de solución frente a la problemática ambiental del uso irracional y la resistencia degradativa de los plásticos. La transformación bioquímica de los compuestos que ocurren por la actividad de varias enzimas, producto de un grupo de microorganismos con capacidad biodegradadora sobre el polímero, es usada como fuente de carbono, lo cual implica cambios relevantes en las características de PEBD y disminución de los períodos prolongados de degradación. El objetivo de este artículo es revisar investigaciones realizadas respecto a la biodegradación del PEBD mediante consorcios microbianos a condiciones aerobias y anaerobias, como opciones viables para la disminución de niveles significativos de contaminación por plásticos. Se concluyó que la biodegradación a condiciones anaerobias es el método más eficiente debido a que se le proporciona condiciones controladas en el laboratorio.

Palabras clave: Biodegradación, condiciones aerobias y anaerobias, microorganismos, polietileno de baja densidad.

Abstract

The biodegradation of Low Density Polyethylene (LDPE) through microorganisms under controlled conditions has been an alternative solution to the environmental problems of irrational use and the degradative resistance of plastics. The biochemical transformation of compounds that occurs through the activity of various enzymes, the product of a group of microorganisms with biodegradable capacity on the polymer, is used as a carbon source, which implies relevant changes in the characteristics of LDPE and a decrease in periods of prolonged degradation. The objective of this article is to review the research carried out on the biodegradation of LDPE by microbial consortia under aerobic and anaerobic conditions, as viable options to reduce significant levels of plastic pollution. It is concluded that biodegradation under anaerobic conditions is the most efficient method because it provides controlled conditions in the laboratory.

Key words: Biodegradation, aerobic and anaerobic conditions, microorganisms, low density polyethylene.

1. Introducción

A nivel mundial la contaminación por residuos plásticos es un problema que viene causando preocupaciones en el ámbito ambiental, debido a que estos materiales poseen alta resistencia a la degradación y su tiempo de permanencia en el ambiente es de forma prolongada (Oliveros & Gómez, 2016). Se estima que la producción anual de plásticos supera los 300 millones de toneladas a nivel mundial debido a su gran demanda, por lo que el reciclaje y disposición final no han constituido en una solución óptima para la eliminación de estos (Peraza, 2017). La presencia y el manejo inadecuado de estos residuos llegan a provocar impactos significativos en el medio ambiente, en la flora y la fauna en distintos medios. De acuerdo a investigaciones realizadas en la Universidad de Hawái informaron otra razón para redoblar los esfuerzos contra la contaminación por plásticos, entre ellas se mencionó la emisión permanente de metano y etileno en la descomposición del plástico (Castro, 2014).

La utilización de los plásticos se ha incrementado en los últimos años, debido a que desde un principio fueron vistos como una opción para reemplazar otros materiales, tras las múltiples propiedades que poseen como ligereza, resistencia y transparencia (Santillán, 2018). Los plásticos compuestos de polietilenos de baja densidad ($0,92 - 0,93 \text{ g/cm}^3$) están compuestos de polímero sintético derivado del petróleo; entre sus propiedades se destacan la tenacidad, ductilidad, excelente resistencia química y baja permeabilidad al vapor de agua (Ararat & Murillo, 2016). Estos polietilenos están presentes en papeles de envoltura, sacos, bolsas plásticas, envasado, juguetes, vasos, platos, botellas, revestimiento de cables eléctricos, fabricación de tuberías y en la producción de materiales inyección por moldeo (Gilberto, 2002), siendo fáciles de desechar, llegan a ocasionar problemas significativos al ambiente (Cáceres, 2012), debido a que el proceso natural de degradación tarda alrededor de 150 años (Velasco, 2017).

Durante las últimas décadas en Latinoamérica se ha buscado alternativas amigables con el medio ambiente para lidiar con las cantidades de residuos plásticos procedentes de las actividades del hombre y minimizar impactos negativos en el medio ambiente (Ararat & Murillo, 2016). La biodegradación o degradación biológica es la transformación bioquímica de los compuestos por la acción de microorganismos (Montenegro, 2007). El proceso de biodegradación de un compuesto polimérico que sirve como fuente de carbono, ocurre por la actividad de varias enzimas, que son producidas por los microorganismos como bacterias, hongos y actinomicetos. Estos microorganismos son capaces de degradar, transformar o acumular, de forma natural, un amplio rango de compuestos: desde ligninas, almidón, celulosa y hemicelulosa (Shalini & Sasikumar, 2015), hasta hidrocarburos, fármacos y metales (Kannahi & Sudha, 2013) y (Posada, 2013). Además, estos microorganismos pueden asociarse para formar consorcios que degradan los compuestos poliméricos (Peraza, 2017). Sin embargo, el ataque microbiano sólo se produce en determinados intervalos de temperaturas, por lo que este tipo de proceso, es muy poco frecuente a condiciones naturales (Gutiérrez, 2018). Las enzimas pueden atacar los segmentos más pequeños, generando productos intermediarios de bajo peso molecular que serían incorporados a la biomasa celular o ser mineralizados, es decir, completamente degradados hasta generar bióxido de carbono y agua en condiciones aeróbicas, o metano y bióxido de carbono en condiciones anaeróbicas (Pedrique, Magaly; Gutiérrez, 2008).

En el año 2014 el consumo de plástico fue de 30 kilos por habitante en el Perú, la Sociedad Nacional de Industrias (SNI), menciona que el 94% de comercios analizados utilizaba exclusivamente bolsas de plástico para el despacho de sus productos (República, 2018), habiendo un incremento de los residuos plásticos en diferentes ambientes. Frente a ello, se han realizado múltiples estudios de biodegradación de PEBD a partir de consorcios microbianos y cultivos puros (Gutiérrez, 2018). De tal forma, mediante esta investigación se busca confrontar los periodos prolongados de descomposición de los plásticos, llevando consigo a la acumulación del PEBD en medio natural.

Por consiguiente, la biodegradación viene siendo una opción aplicable para la degradación de Polietileno de Baja Densidad, a través de colonias o grupos de microorganismos que interactúan

entre sí, para acelerar el proceso de degradación en un corto periodo de tiempo, contribuyendo en la disminución de niveles significativos de contaminación por plásticos. El objetivo de este artículo es revisar investigaciones realizadas respecto a la biodegradación del PEBD mediante consorcios microbianos a condiciones aerobias y anaerobias, como opciones viables para la disminución de niveles significativos de contaminación por plásticos.

2. Desarrollo o revisión

2.1. La biodegradación microbiana

Según (Gutiérrez, 2013), define a la biodegradación microbiana como la transformación bioquímica de polietileno de baja densidad, donde los microorganismos liberan varias enzimas sobre el material polimérico, el cual sirve como fuente de carbono para su degradación. Las enzimas excretadas llegan a atacar los segmentos con dimensiones pequeños, generando productos de inferior peso molecular, el cual serían degradados hasta bióxido de carbono y agua para condiciones aeróbicas, o liberarían compuestos como metano y bióxido de carbono en condiciones anaeróbicas (Méndez, Vergaray, & Béjar, 2007). Considerando que la actividad microbiana se desarrolla en un rango específico de temperaturas acorde a la tipología del microorganismo (Uribe, Giraldo, & Gutiérrez, 2010).

La biodegradación sobre la condición estructural de los polímeros se dará siempre y cuando exista en la molécula un grupo carbonilo cercano a un átomo de carbono secundario o terciario para que pueda ser transformado por el microorganismo en grupo carbonilo, de tal forma se dará lugar a la fragmentación del material (Clavijo, 2012). Posteriormente, el ataque continuara a través de la acción de las enzimas mediante un proceso hidrológico que irá comprimiendo las cadenas más grandes a fragmentos de peso molecular más bajo, siendo estas capaces de ser digeridos por los microorganismos (Vázquez-Morillas et al., 2018).

2.2. El plástico y su impacto ambiental

En la década de los setenta se tenía pensando que los plásticos no eran tóxicos para el medio ambiente, por lo que no se habían realizado estudios o campañas para su minimización y control. Sin embargo, en la década de los ochenta, se demostró la presencia de partículas pequeñas de plástico en la superficie del mar Sargasso en 1971, que provocaban la muerte de las especies marinas que las ingerían (Acuña, 2017). Posteriormente, se demostraron que los plásticos estaban muy lejos de ser inofensivos.

El incremento de uso de plásticos y los largos periodos de degradación son un problema actual que viene perjudicando el medio ambiente (Uribe et al., 2010). Principalmente, el polietileno viene siendo uno de los plásticos que frecuentemente se le da un solo uso y son desechados en grandes cantidades, sumado al manejo inadecuado y disposición final que se le da. Por ello en los últimos años hay incremento de volúmenes de plásticos, que llegan a parar en botaderos, calles, ríos, mares y otros lugares, generando impactos negativos en la flora y fauna (Agarry, Durojaiye, & Solomon, 2008). Tal es el caso del Norte del Océano Pacífico; se encontró una masa de fragmentos de plásticos de indeterminado tamaño, principalmente el 80% proveniente de basura, con el paso del tiempo se han venido acumulado y en la actualidad se ha convertido en una isla de plásticos, que viene perjudicando a las especies marinas (Montenegro, 2007).

La clasificación del polietileno es la siguiente:

- a) polietileno lineal de baja densidad (LLDPE)
- b) polietileno de baja densidad (LDPE)
- c) polietileno de alta densidad HDPE.

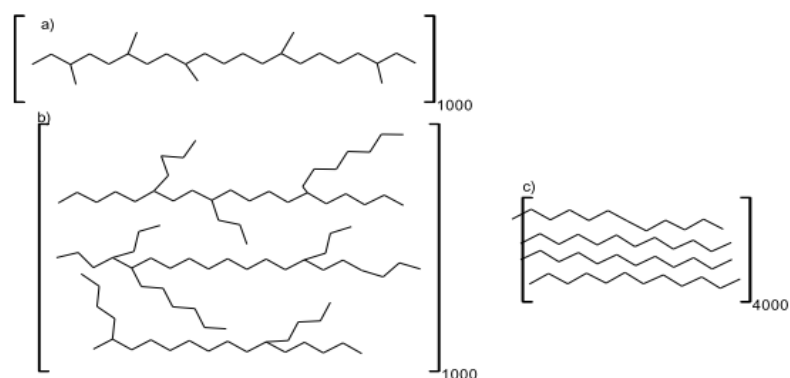


Figura 1. Estructuras del polietileno: a) polietileno lineal de baja densidad; b) polietileno de baja densidad; c) polietileno de alta densidad.

Fuente: Acuña (2017)

La estructura del polietileno de baja densidad es muy ramificada (en cerca de 2% de los átomos de carbón). Su peso molecular es de 100.000-300.000 [g/gmol] y su densidad es de 0,90-0,91 [gr/cm³] siendo el de menor densidad y esto se ve reflejado en sus cualidades, debido al uso en la fabricación de bolsas desechables (Narváez, flórez; Gómez & Martínez, 2008).

Entre los mecanismos viables para la eliminación y reducción del Polietileno de Baja Densidad, el reciclaje no es una solución integral ante la problemática ambiental debido a que existe una demanda de inversiones difícilmente asumibles y ejercer una adecuada gestión; además métodos como la incineración, degradación térmica, química, entre otros implica impactos negativos que perjudican al medio ambiente y la salud. Finalmente, entre los métodos más empleados y que guardan un menor impacto al medio ambiente, tenemos a la degradación biológica. La biodegradación es una práctica en la que se ha encontrado a ciertos tipos de microorganismos, capaces de acelerar la descomposición, reduciendo el tiempo de degradación que estos poseen (Espinoza, 2018).

2.3. Proceso de la biodegradación

Los microorganismos con capacidad biodegradativa de PEBD tiene la facultad de modificar las cadenas de carbón de los plástico, a cadenas más simples y amigables con el medio ambiente, mediante la descomposición de los derivados de petróleo como parte de su metabolismo, permaneciendo poco tiempo en el ambiente y permitiendo que los efectos tóxicos de los plásticos tenga una corta duración sobre los organismos (Castro, 2014). Frente a la actividad microbiana sobre los plásticos, se ha considerado la biodegradación como una opción para solucionar el problema de acumulación de plásticos por su difícil degradación en corto tiempo. El proceso que requiere no implica un elevado costo ni daño al medio ambiente, a comparación de otros mecanismos utilizados como la incineración, entre otros (Uribe et al., 2010).

En este sentido la biodegradación del Polietileno de Baja Densidad a condiciones naturales requiere largos periodos de tiempo, por lo cual no se le considera como un material difícilmente degradable. De acuerdo a (Velasco, 2017) una lámina de 60µm se tarda en degradar completamente alrededor de 300 años, por lo que prácticamente se considera un material no biodegradable de acuerdo a sus características. Sin embargo, se puede modificar su estructura a través de microorganismos aptos para su degradación, lo cual es posible disminuir el tiempo de vida del polímero drásticamente (Pedrique, Magaly; Gutiérrez, 2008) .

La biodegradación consta de dos etapas: Biodeterioración: Cuya etapa extracelular se caracteriza por la acción en conjunto de los microorganismos y los factores abióticos que en conjunto dan como resultado una fragmentación del Polietileno de Baja Densidad en oligómeros y en el cambio químico del polímero (oxidación), y la etapa de Asimilación; donde los

oligómeros tienen el tamaño suficiente para ser transportados al citoplasma, los microorganismos los integran a las rutas metabólicas donde son mineralizados (Espinoza, 2018).

2.4. Reportes de consorcios microbianos biodegradadores

Los primeros estudios sobre la biodegradación del polietileno se remontan al año 1980, los cuales muestran la realización de estudios sobre la producción de CO₂ por los hongos *Fusarium rodolens* y *Aspergillus versicolor* que eran alimentados con laminillas de polietileno de alta densidad, donde se confirmó que el plástico servía como fuente de carbono de este grupo de microorganismos (Oliveros & Gómez, 2016). Posteriormente en 1991 se encontró que las especies *Streptomyces badius*, *Streptomyces setonii*, y *Streptomyces* producían una enzima extracelular, capaz de degradar polietileno puro o con aditivos, como almidón (Pometto, Lee, Fratzke, & Bailey, 2007).

Acuña et al. (2017) menciona que el PEBD es degradado por 63 géneros de microorganismos entre hongos y bacterias, considerando la diversidad de climas, hábitats y organismos que hay en el planeta, lo que significa que por lo menos dos tercios de todos los géneros de microorganismos (148 especies) con la capacidad degradativa, degradarían el PEBD. A continuación, se muestra una lista de microorganismos de carácter biodegradador de polímeros:

Tabla 1.
Microorganismos capaces de degradar el Polietileno de bajas densidades reportadas en la literatura

Dominio	Genero	Especie
		baumannii
Bacteria	Acinetobacter	ursingii
		sp
Bacteria	Acanthopleurobacter	pedís
Fungi	Acremonium	kiliense
Bacteria	Achromobacter	denitrificans
		versicolor
Fungi	Aspergillus	sp
		niger
		sp
Bacteria	Bacillus	aerius
		pumilus
		cereus
Fungi	Candida	sp
Bacteria	Listeria	sp
		sp
Fungi	Penicillium	pinophilum
		aeruginosa
Bacteria	Pseudomonas	sp
		fluorescens
Bacteria	Streptomyces:	viridosporus
		sp

Fuente: Acuña (2017)

Entre los microorganismos degradadores mencionados anteriormente encontramos a bacterias actinomicetos y hongos filamentosos (Vázquez-Morillas et al., 2018), que realizan los procesos de digestión, asimilación y metabolización de un compuesto polimérico (Gutierrez, 2018). Cabe mencionar que existen especies desconocidas, que aún están por investigar y descubrir.

De acuerdo a (Acuña, 2017), los hongos como *Aspergillus sp.*, *Penicillium sp.*, entre otros tienen la capacidad de adaptarse y sobrevivir a condiciones con baja disponibilidad de nutrientes, bajo en pH y humedad, lo cual genera buenos resultados en la biodegradación en el principio. Sin embargo, la biodegradación de PEBD usando bacterias provoca mejores niveles de degradación a largo plazo, tras una mejor adopción de las condiciones del entorno y crecimiento microbiano. Por otro lado, (Gutierrez, 2018) expresa la utilización de consorcios microbianos, es decir de hongos y bacterias ofrecen considerables ventajas sobre el uso de cultivos puros, debido a la habilidad multifuncional en el medio.

2.5. Factores ambientales de la biodegradación

El efecto del ambiente en relación a la biodegradación de polietileno de baja densidad requiere que existan ciertas condiciones o variables que perturben la actividad microbiana tales como la temperatura, el ambiente químico (pH, electrolitos, etc.) (Narváez, flórez; Gómez & Martinez, 2008), humedad, disponibilidad de oxígeno, nutrientes inorgánicos y accesibilidad al sustrato. En contraste, se puede esquematizar de la siguiente forma:

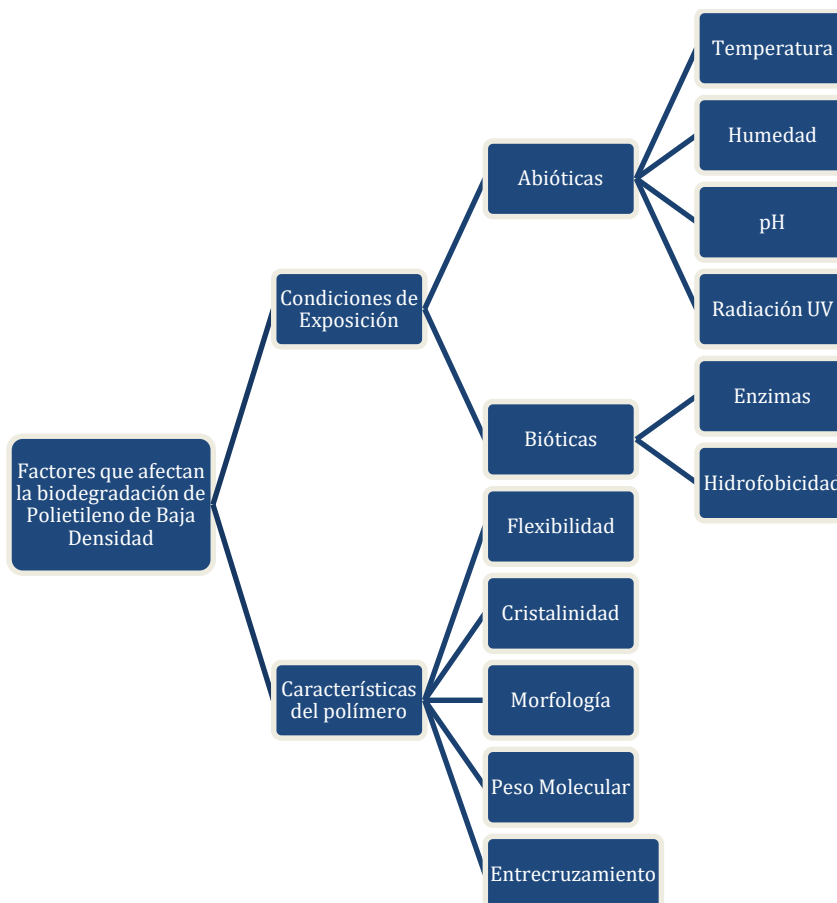


Grafico 1. Factores que afectan la biodegradación del Polietileno de Baja Densidad

Fuente: Gutierrez (2018)

Los factores que repercuten sobre la biodegradación del PEBD se clasifican en bióticos (suelo, capacidad metabólica del microorganismo, nutrientes, respiración y aireación) y abióticos (pH,

temperatura y humedad), de acuerdo a las condiciones de exposición durante el proceso. Así mismo, (Espinoza, 2018) ha considerado que el estudio a nivel de laboratorio de la biodegradación suele estar bajo dos variables ambientales conocidas, temperatura y pH, cuya relación influyen en las variaciones de actividad microbiana significativamente.

El carácter biodegradador de los microorganismos se desarrolla en ambientes donde la temperatura promedio sea de 20-25 °C y de forma significativa a temperaturas máximas de 35-40°C, las cuales son las recomendadas para el crecimiento y desarrollo de las bacterias (Gutiérrez, 2013). Sin embargo, (Méndez et al., 2007) hace mención que la temperatura óptima de biodegradación de plásticos se encuentra entre 25-30 °C.

Por otro lado, el crecimiento de los microorganismos de carácter biodegradador dependerá del contenido de la humedad en el medio (Acuña, 2017), debido a que si hay un mayor contenido de humedad en el sustrato, el crecimiento de los microorganismos será más acelerado. Es por ello existen dos subcategorías de ambientes donde predominan estos microorganismos: En ambientes acuáticos como en ríos, mares, lagos, reservas subterráneas, etc. y en ambientes sólidos o secos como en zonas de compost, reservas forestales, botaderos, etc. (Gutiérrez, 2018).

La supervivencia y actividad de los microorganismos con capacidad biodegradadora se encuentran acorde a un determinado pH, cuyos valores óptimos van de 6 - 8 de acuerdo a (Narváez, Flórez; Gómez & Martínez, 2008). En contraste (Arciniega, 2008), encontró que un género de actinomicetos presentan una tolerancia de pH de 5 a 10, teniendo en cuenta que la actividad biodegradadora disminuye el pH a un valor de 5,6 en 24 días por lo que el microorganismo debe ser altamente tolerante a pH bajos. Por otro lado, bacterias como *Pseudomonas fluorescens*, *Pseudomonas aeruginosa* y *Acinetobacter ursingii*, todas bacterias mesófilas cuando se cultivaron en un medio con pH de 7,2 después de 7 días a 30°C, lo acidificaron a 6.41, 6.45, 6.52 (Quinchía & Maya, 2015). Caso contrario, sucede con los hongos, las cuales son especies más resistentes a medios ácidos y por lo tanto a pH bajos degradan más rápidamente el LDPE, como lo presentan (Orhan, Hrenović, & Büyükgüngör, 2004).

La actividad microbiana también se ve influenciada a temperaturas relativamente elevadas, es así que (Gutiérrez, 2018) menciona que el rango de la temperatura óptima para la biodegradación se da 28 a 55 °C. Considerando que la degradación en cada ambiente es distinta para cada especie microbiana. Las bacterias termófilas como la *Streptomyces coelicoflavus* soportan variaciones de temperatura desde los 12° a los 42°C, sin embargo su temperatura para la degradación óptima se da a 28±2°C (Espinoza, 2018). Así mismo, para las bacterias *Pseudomonas putida* la temperatura óptima se encuentra a 37°C (R. Majid, 2014).

2.6. La degradación de polietileno a condiciones aerobias y anaerobias

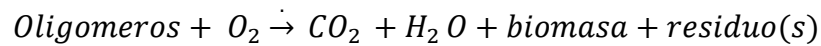
Frecuentemente el enterramiento del material polimérico en los rellenos sanitarios posee sus propias limitaciones, pese a que este método sea muy empleado en las grandes urbes (Uribe, 2010). La tasa de degradación del polietileno en estas condiciones es muy lenta, por lo que suele degradarse alrededor de los 500 años, debido a las condiciones ambientales a las que se encuentran, como lo demuestra (Orhan et al., 2004) en su investigación.

La descomposición del polietileno de baja densidad puede llevarse a cabo con la interacción de oxígeno (aeróbica) o en ausencia de oxígeno (anaeróbica) (Orhan et al., 2004). El proceso anaerobio es más completo y emite energía, dióxido de carbono y agua, su rendimiento energético es mayor. Por otro lado, los procesos anaeróbicos son oxidaciones incompletas que emiten menor energía (Gutiérrez, 2018). Este procedimiento puede ser muy efectivo y eficaz al compararse con el periodo prolongado de tiempo que requiere una bolsa de plástico para degradarse sin acción de ninguna práctica de biodegradación. Gutiérrez (2013) en la investigación realizada sobre la biodegradación en condiciones aerobias reporta un 9% de degradación en 15 días y en condiciones anaerobias, alrededor de un 10% en condiciones en 14 días, previamente enriquecidos en un medio de cultivo a escala laboratorio.

Acuña (2017) menciona que los ambientes en donde ocurren las rutas metabólicas de biodegradación durante el proceso de asimilación, se pueden clasificar de acuerdo a la disponibilidad de oxígeno en el medio, el cual puede ser en condiciones aerobias y anaerobias.

2.6.1. *Proceso de Biodegradación de PEBD a condiciones aerobias*

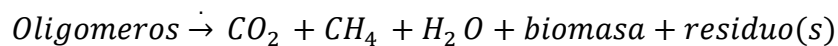
El proceso de la biodegradación se puede realizar en condiciones aerobias; donde se puede obtener buen porcentaje de degradación de los materiales poliméricos (Arciniega, 2008). La mayor parte de la degradación aerobia en plásticos se podría llevar a cabo en un medio como el compostaje (Orhan et al., 2004) donde la reacción aeróbica requiere como conjunto de electrones al oxígeno, el cual se reduce a agua y es teóricamente la más exotérmica.



Mayz & Manzi (2017) afirman que el compostaje es un medio ideal para la proliferación de microorganismos (bacterias, hongos, entre otros); beneficios que se encargan de romper la estructura molecular del Polietileno de Baja Densidad, reduciendo su peso a través de procesos metabólicos y enzimáticos durante un determinado tiempo. También se han realizado estudios donde microorganismo presente en el rumen como bacterias, hongos y protozoarios, son capaces de degradar varios polímeros, como celulosa, hemicelulosa, almidón, proteínas y ácidos nucleicos (Altamirano et al., 2004).

2.6.2. *Proceso de Biodegradación de PEBD a condiciones anaerobias*

En el proceso de la biodegradación en condiciones anaerobias: La biodegradación de polietileno de baja densidad se lleva a cabo sin la necesidad de oxígeno, donde se suele liberar metano como producto final. Probablemente es la mejor para acelerar el proceso de biodegradación del Polietileno de Baja Densidad, debido a las condiciones controladas que se le proporciona a partir de pH, temperatura, humedad y nutrientes a fin de asegurar el crecimiento de microorganismos de carácter biodegradador (Orhan et al., 2004). El proceso ocurre básicamente como se presenta en la siguiente ecuación:



Entre las pruebas de biodegradación a condiciones anaerobias se tiene la prueba en cajas petri, el cual ha sido desarrollado para apreciar la resistencia a la degradación microbiana. El método requiere de un contenido de agar en sales y láminas de polietileno de baja densidad en una caja petri, donde no contenga ninguna fuente adicional de carbono (Acuña, 2017). De tal forma, se encontró que las bacterias que poseen mayor grado de eficiencia biodegradadora son los *Streptomyces sp*, seguidos por las *Pseudomonas sp* y *bacillus sp*, de las cuales algunas especies de *Pseudomonas* logran una pérdida de peso por encima del 20% en PEBD durante 120 días en cultivos microbianos previamente enriquecidos (Orhan et al., 2004) .

Tabla 2.
Comparación de las ventajas y desventajas de los procesos de degradación del PEBD

	Campo	Condiciones Aerobios	Condiciones Anaerobios
Proceso	Enterramientos de las muestras de plásticos en el suelo	Enterramiento de las muestras de plásticos en compost, suelo o agua de mar ubicados en condiciones controladas (temperaturas, pH, humedad)	Medios inoculados definidos con poblaciones definidas a condiciones controladas (temperaturas y pH)
Ventajas	Más fáciles y ampliamente usados, son más realistas en la simular el proceso de biodegradación	Mejor facilidad de control y manipulación.	Hay una tasa de degradación alta
Desventajas	Las condiciones no pueden ser controladas	Carencia de reproducibilidad debido a la variada población	Este método requiere mayor tiempo y seguimiento.

Fuente: Agarry, Durojaiye, & Solomon (2008)

Según (Drahansky et al., 2016), para el estudio de la biodegradación del Polietileno de Baja Densidad son las: Pruebas de campo (In situ o in vivo) con medios naturales conocidos pero no controlados, tales como: rellenos, botaderos, etc., lo que implica una irreproducibilidad en otros sitios y una aleatoriedad de las variables. Por otro lado, tenemos a las pruebas en condiciones aerobias, el cual vienen a ser aquellas pruebas de biodegradación que se realizan a escala de laboratorio con medios seminaturales, con condiciones parcialmente controladas, los medios son conocidos y se pueden controlar en un nivel medio. A su vez, tenemos a las pruebas a condiciones anaerobias, cuyas variables son casi completamente controladas, y se ubican en el laboratorio, los medios son conocidos y controlados con gran precisión, dando la posibilidad de comparar experimentos de diferentes laboratorios.

La variación directa o pérdida de la masa inicial con la masa final del polietileno de baja densidad que ha sido expuesto a las condiciones de biodegradación, se basa en la adherencia y biodegradación de los microorganismos al material polimérico, los cuales se han preseleccionado por su capacidad de utilizarlo como fuente de carbono. Su procedimiento consiste en pesar con un micro balanza el material antes y después de realizar una prueba de cultivo (Acuña, 2017).

2.7. Antecedentes de biodegradación a condiciones aerobias y anaerobias

Espinoza (2018), en el presente trabajo “Evaluación de la degradación de polietileno de baja densidad mediada por diferentes especies de hongos”, evaluaron la biodegradación de polietileno de baja densidad (LDPE) aplicando seis especies diferentes de hongos: *Aspergillus sp.*, *Fusarium sp.*, *Cladosporium sp.*, *Trichoderma harzianum*, *Penicillium sp.* y *Pleurotus ostreatus*. La muestra fue sumergida a un tratamiento de envejecimiento térmico antes de ser incubado con los microorganismos. Consecutivamente, se registró la masa de las muestras de plástico antes y después del cultivo, conjuntamente, se analizó en la microscopía electrónica de barrido (SEM), donde se evidencia actividades metabólicas sobre la superficie del plástico.

Quinchía & Maya (2015), en la investigación “*Degradabilidad de Polietileno de Baja Densidad –LDPE utilizando Pycnoporus sanguineus UTCH*”, evaluaron el potencial de biodegradación del polietileno de baja densidad, partiendo de la actividad del hongo (*Pycnoporus sanguineus*) y microorganismos. Para ello se tomó el polietileno de baja densidad como sustrato de crecimiento en fase sólida, que se desarrolló a escala de laboratorio, teniendo como condiciones óptimas de crecimiento del organismo, humedad, temperatura y porcentaje de polímero en los medios de cultivo. La capacidad del polímero, fue utilizado como fuente de carbono, la cual se evaluó por un periodo de 6 meses. La comprobación de la biodegradación se realizó por medio de pruebas de gravimetría y el registro de variaciones del exterior del material por medio de Microscopía Electrónica de Barrido – SEM. Así mismo algunos cambios que ocurrieron en los grupos funcionales superficiales se evaluaron mediante Espectrofotometría Infrarroja por Transformada de Fourier – FTIR. Los resultados obtenidos permitieron confirmar que el hongo junto a microorganismo degradadores utilizan el polímero como fuente de carbono y su crecimiento generó cambios evidentes en corto tiempo comparada con las proyecciones de vida útil del polietileno de baja densidad.

Gutierrez (2018), en la investigación “*Influencia de factores ambientales de crecimiento microbiano en la degradación de polietileno de baja densidad por la bacteria pseudomona aeruginosa en Huancayo*” mediante el proceso de descomposición natural de materiales con ayuda de microorganismos analizó y determinó la influencia de los factores ambientales como crecimiento microbiano, pH y temperatura para la degradación de polietileno de baja densidad, por lo que empleó un método experimental bajo condiciones controladas en laboratorio que permitió describir el proceso de degradación. Se tomó muestras de agua para su cultivo y aislamiento, que a su vez fueron sometidas al consumo de polietileno como principal fuente de alimento, manejando condiciones de pH y temperatura para su mejor desarrollo. Finalmente, se observó crecimiento de colonias de bacterias identificadas como *Pseudomonas aeruginosa*.

Cáceres (2012), en la investigación, “*Biodegradación bacteriana de polietileno de baja densidad, bajo condiciones controladas en biorreactores*”, experimentó la capacidad de bacterias nativas ambientales aisladas del botadero la Moyuna, de Tingo María- Perú, para degradar bolsas plásticas (polietileno de baja densidad), para ello hicieron uso de biorreactores de tipo air lift en un sistema sumergido, habiendo como fuente principal de carbono y energía el polietileno de baja densidad (bolsas), consiguiendo aislar las bacterias que se desarrollaron en presencia de polietileno de baja densidad las cuales pertenecen a las especies “*Pseudomonas sp*”, “*Edwarsiella sp*” y “*Alcaligenes sp*”, las cuales se consideran mejores por su eficiencia en la biodegradación del polietileno, debido a que se adaptaron a diferentes condiciones de la actividad microbiana en un rango de 6.4 - 8.3 pH a temperaturas de 24- 30 °C en medio acuoso. Así mismo se observaron la pérdida de peso del PEBD provenientes de Metro y cambios en la estructura del polietileno como son coloración, entre otros.

Uribe et al. (2010), en el presente trabajo investiga “*La Biodegradación de polietileno de baja densidad por la actividad de un grupo microbiano aislado del relleno sanitario de Lurín, Lima*”, donde muestras de residuos plástico deteriorado son extraídas del relleno sanitario de Lima, a fin de extraer aquellos microorganismos capaces de biodegradar polietileno de baja densidad, es por ello se somete a condiciones controladas para su crecimiento y desarrollo. Las muestras filtradas se sumergieron en un medio de sales a distintos pH (7 y 5.5), para la selección de bacterias y hongos respectivamente. Finalmente, se aislaron la *Pseudomonas sp.*, *Penicillium sp.*, *Rhodotorula sp.*, *Hyalodendron sp.* y una levadura no identificada. Se evidenció la acción degradativa del consorcio microbiano aislado a través del espectro infrarrojo del polietileno y sobre la medición del peso perdido del polietileno, teniendo como resultado cierta disminución; el medio de pH 7, reduce a un 5.4% y un medio de pH 5.5 con un valor de 4.8%.

Chunga & Cieza (2017) en la investigación titulada “*Biodegradación de poliestireno utilizando microorganismos presentes en el Humus de lombriz durante los meses, octubre - diciembre 2016*” se colocó muestras de poliestireno en macetas con humus de lombriz a

diferentes profundidades y días, conteniendo géneros bacterianos *Bacillus spp* y *Clostridium spp*. Posteriormente se evaluó el porcentaje de pérdida de peso de las muestras de poliestireno colocadas en superficie, parte media y fondo, de la maceta cada 30 días por un periodo de 3 meses como corresponde: Octubre: 0%, 0.4% y 1.6%; Noviembre: 0.4%, 0.8% y 4,8%; y Diciembre: 0%, 0.8%, y 3%. Por lo tanto, se concluye que la mayor biodegradación se observó en el fondo de la maceta durante los 90 días con un porcentaje de biodegradación total del 9.4%.

Orhan et al. (2004) en el trabajo de investigación “*Biodegradación de bolsas de compostaje de plástico bajo condiciones de suelo controladas*” se evaluó una degradación de las tiras de bolsas de compost hechas de polietileno supuestamente degradable y polietileno no degradable de baja densidad y alta densidad en suelos mezclados con 50% (p / p) de compost de residuos sólidos municipales maduros suministrados a partir de desechos municipales. Las películas de plástico fueron enterradas durante 15 meses a temperatura ambiente en tarros desecadores de 2 L que contenían tierra ajustada al 40% de la capacidad máxima de retención de agua. La degradación de los plásticos se determinó por la pérdida de peso de la muestra, la resistencia a la tracción, la producción de dióxido de carbono, los cambios químicos medidos en el espectro infrarrojo y la actividad bacteriana en el suelo.

Meza (2012) en el trabajo titulado “*Biodegradabilidad de polietileno por la acción de bacterias nativas presentes en humus de lombriz, caballo y gallina*” se trabajó con bacterias nativas de tres tipos de humus: lombriz, caballo y gallina; así también con muestras de polietileno las cuales fueron trituradas hasta obtener finas partículas para ser utilizadas como única fuente de carbono del medio de cultivo para las bacterias. La biodegradación se determinó mediante el peso residual [mg] de los plásticos durante 1 mes y 5 días. Al finalizar la investigación se obtuvo que las bacterias del humus de caballo biodegradaron un 10,89% de polietileno; mientras tanto las bacterias nativas del humus de lombriz biodegradaron el 39.99% de polietileno.

2.8. Reporte de estudios realizados sobre biodegradación de PEBD a condiciones aerobias y anaerobias

En la tabla N°3 se aprecia los estudios realizados sobre la biodegradación de polietileno de baja densidad a condiciones aerobias y anaerobias, de las cuales se consideraron condiciones controladas para una mejor biodegradación, a nivel de pH y temperatura. Así mismo, se reporta el tipo de medio de cultivo, el tiempo del estudio de la biodegradación y el tipo de microorganismo con mayor rendimiento biodegradativo para ambas condiciones. Finalmente, se reporto el porcentaje de perdida de peso durante determinado tiempo, a fin de determinar las condiciones la biodegradación del PEBD más favorables y efectivas.

Tabla 3.
Reporte de estudios realizados sobre la biodegradación en condiciones anaerobias y aerobias

Tipo de condición	Autores	Titulo	Controles Operacionales		Tipo de Medio de Cultivo	% W perdido (% peso perdido)	Tiempo	Tipo de microorganismo con mejor rendimiento de biodegradación
			pH	Temp. (°C)				
Anaerobio	Gutierrez (2018)	“Influencia de factores ambientales de crecimiento microbiano en la degradación de PEBD por la bacteria <i>Pseudomona aeruginosa</i> en Huancayo”	5.5-7	25-40°C	Agar Nutritivo Agar Cetrimide	Wi=700 mg Wf= 140 mg %W=80%	2 meses	<i>Pseudomona aeruginosa</i>
	Espinoza (2018)	“Evaluación de la degradación de PEBD mediada por diferentes especies de hongos”	4.5-6	25-45°C	Agar de papa Agar dextrosa	Wi=13 mg Wf= 1.98 mg %W=84.77%	2-3 meses	Hongos: <i>Aspergillus sp.</i> , <i>Fusarium sp.</i> , <i>Cladosporium sp.</i> , <i>Trichoderma harzianum</i> , <i>Penicillium sp.</i> y <i>Pleurotus ostreatus</i>
	Quinchía & Maya (2015)	“Degradabilidad de Polietileno de Baja Densidad –LDPE utilizando <i>Pycnoporus sanguineus</i> UTCH”	5.5-7	22-35 °C	Agar Sabouraud	Wi=500 mg Wf= 50 mg %W=90%	6 meses	<i>Pycnoporus sanguineus</i>
Aerobio	Meza (2012)	“Biodegradabilidad de polietileno por la acción de bacterias nativas presentes en humus de lombriz, caballo y gallina”	6-7.5	22°C	Humus de caballo	10.89%	1 mes y 5 días	Bacterias, actinomicetos y hongos
	Chunga & Cieza (2017)	Biodegradación de Polietileno utilizando microorganismos presentes en el Humus de lombriz durante los meses, octubre - diciembre 2016	6-7.5	25°C.	Humus de lombriz	Wi=0.252 mg Wf= 0.229 mg %W=9.13%	2 meses	<i>Bacillus spp</i> y <i>Clostridium spp.</i>
	Orhan et al. (2004)	Biodegradación de bolsas de compostaje de plástico bajo condiciones de suelo controladas	6.0-6.5	25°C	Suelos mezclados con 50% de compost de residuos sólidos	36%	5 meses	Bacterias heterótrofas mesófilas aerobias

Fuente: Elaboración Propia

3. Discusión

Según los estudios mencionados en la tabla N°3, sobre biodegradación a condiciones anaerobio, Gutierrez (2018) demuestra que a los dos meses del experimento utilizando el agar nutritivo con un pH de 5.5-7, teniendo como muestra inicial 700 mg de PEBD se logró biodegradar con la especie *Pseudomona aeruginosa*, 140 mg de la muestra. Por otro lado con el mismo pH de 5.5-7, los autores Quinchía & Maya (2015) en su investigación comprobaron la biodegradabilidad del polietileno de baja densidad, utilizando el cultivo de agar Sabouraud con la especie *Pycnoporus sanguineus*, teniendo una muestra inicial de 500 mg, lo cual demuestra resultados positivos en seis meses con una pérdida de peso en la muestra de 90%.

En el estudio de Espinoza (2018), para la degradación con diferentes especies hongos en pH de 4.5-6 en un tiempo de tres meses se logró evaluar una biodegradación, teniendo como muestra inicial 13 mg de polietileno de baja densidad donde se obtuvo un resultado de 1.98 mg de biodegradación. A comparación de los cultivos de microorganismo a partir de bacterias, los hongos pueden tener una mejor capacidad biodegradativa de PEBD durante los primeros meses, debido a su capacidad de tolerancia a las condiciones extremas de pH, temperatura y humedad (Torres, 2003). Sin embargo, las bacterias pueden llegar a mejorar los niveles de degradación de PEBD a largo plazo, una vez que se adapten a las condiciones del entorno y llegan a su máximo nivel de crecimiento (Acuña, 2017).

De acuerdo a Meza (2012), la acción biodegradadora de bacterias, actinomicetos y hongos cultivados en humus de caballo permite una pérdida de peso del PEBD del 10.89% en solo un mes y 5 días, cuya efectividad se le atribuye al consorcio microbiano variado y con un pH de 6-7.5 y una temperatura de 22°C. Así mismo, (Chunga & Cieza, 2017) expresa que el comportamiento biodegradativo en el cultivo de humus de lombriz se le atribuye a microorganismos como *Bacillus* spp y *Clostridium* spp, considerando que la biodegradación del PEBD tiene un comportamiento diferente para distintas profundidades en las que se entierran las muestras, obteniendo como resultado 9.13% de pérdida de peso de la muestra enterrada en el fondo de la maceta en un periodo de 2 meses. Por otro lado, (Orhan et al., 2004) menciona que la acción biodegradadora de las bacterias heterótrofas mesófilas aerobias en suelos mezclados con 50% de compost de residuos sólidos en un periodo de tiempo de 5 meses, la biodegradación del polietileno de baja densidad en compost garantiza niveles regulares de pérdida de peso de hasta el 36% en relación su peso inicial.

4. Conclusión

La capacidad de biodegradación del consorcio de microorganismos es una opción eficiente y económica de la cual se puede sacar provecho por los beneficios que aportan en el proceso de transformar las características físicas y químicas del plástico, de tal forma permite acelerar el proceso de degradación del PEBD en un corto periodo de tiempo.

Por otro lado, se evidenció que el proceso de biodegradación a condiciones anaerobias es el método más eficiente para la pérdida de peso del polietileno debido a que se le proporciona condiciones controladas en el laboratorio en relación del pH, temperatura y nutrientes, de tal modo que el consorcio microbiano de carácter biodegradador logre acelerar el proceso de degradación del PEBD en un corto periodo de tiempo.

La investigación sobre la biodegradación del polietileno ha avanzado a pasos agigantados, lo cual se refleja en los múltiples trabajos publicados, en los cuales los investigadores han identificado una diversidad de microorganismos entre hongos y bacterias con capacidad biodegradadora de PEBD. Finalmente ya sean bacterias u hongos, la utilización de consorcios microbianos ofrece considerables ventajas sobre el uso de cultivos específicos en la degradación de PEBD, en la cual existen funciones interdependientes y cooperativas, lo cual ofrece una habilidad multifuncional en la biodegradación.

Referencias

- Acuña, N. R. (2017). Revisión bibliográfica sobre los microorganismos biodegradadores de polietileno de baja densidad y sus efectos en el material. (Universidad Distrital Francisco de Caldas; Vol. 10). <https://doi.org/10.1111/j.1469-7610.2010.02280.x>
- Agarry, S. E., Durojaiye, A. O., & Solomon, B. O. (2008). Microbial degradation of phenols: A review. *International Journal of Environment and Pollution*, 32(1), 12–28. <https://doi.org/10.1504/IJEP.2008.016895>
- Altamirano, J. D., Nava, S. C., Martínez, G. D. M., Peralta, M. A. C., Velasco, R. R., & Pérez, F. X. P. (2004). Degradabilidad ruminal in vitro de almidón de 21 variedades de sorgo (*sorghum bicolor* L. Moench) con diferente genotipo de resistencia a sequía. *Interciencia*, 29(6).
- Ararat, C. A., & Murillo, E. A. (2016). Polietileno de baja densidad funcionalizado con un poliéster poliálcool altamente ramificado maleinizado. *Ingeniería y Ciencia*, 12(23), 127–144. <https://doi.org/10.17230/ingciencia.12.23.7>
- Arciniega, Y. (2008). *ASLAMIENTO DE MICROORGANISMOS DEGRADADORES DE TEREFTALATO DE POLIETILENO (PET)*.
- Cáceres, O. (2012). Biodegradación bacteriana de polietileno de baja densidad bajo condiciones controladas en biorreactores AIR LIF. Retrieved from <http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/356>
- Castro, J. (2014). *Evaluación de la bacteria Pseudomona como degradador del polietileno*. 1–26.
- Chunga, L., & Cieza, C. (2017). *Biodegradación de poliestireno utilizando microorganismos presentes en el Humus de lombriz durante los meses, octubre - diciembre 2016*.
- Clavijo, K. F. M. (2012). Bioprospección de la degradación del polietileno. Pontificia Universidad Javeriana.
- Drahansky, M., Paridah, M. ., Moradbak, A., Mohamed, A. ., Owolabi, F. abdulwahab taiwo, Asniza, M., & Abdul Khalid, S. H. . (2016). Biodegradation of Pre-Aged Modified Polyethylene Films. *Intech, i(tourism)*, 13. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.5772/57353>
- Espinoza, L. (2018). Evaluación de la degradación de polietileno de baja densidad mediada por diferentes especies de hongos. *Revista Peruana de Biología*, 2.
- Gilberto, P. (2002). Plásticos Y Medio Ambiente. *Revista Iberoamericana Polímeros*, 3(2), 1–13.
- Gutiérrez, J. (2013). *BIODEGRADACIÓN DE POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD POR CONSORCIOS MICROBIANOS*. FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA En años recientes, la degradación microbiana de los plásticos, se ha considerado como una alternativa para solucionar el problema de la disposición final de estos residuos que, a diferencia de la incineración, pres.
- Gutierrez, K. (2018). *Influencia de factores ambientales de crecimiento microbiano en la degradación de polietileno de baja densidad por la bacteria pseudomona aeruginosa en Huancayo*. 165.
- Kannah, M., & Sudha, P. (2013). Screening of polythene and plastic degrading microbes from Muthupet mangrove soil. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, 5(8), 122–127.
- Mayz, J. C., & Manzi, L. V. (2017). Bacterias hidrocarburoclásticas del género *Pseudomonas* en la rizosfera de *Samanea saman* (Jacq.) Merr. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 19(1), 29–37. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v19n1.57408>

- Méndez, C. R., Vergaray, G., & Béjar, V. R. (2007). Aislamiento y caracterización de micromicetos biodegradadores de polietileno. *Revista Peruana Biologica*, 13(3), 203–205. Retrieved from <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/rpb/article/view/62>
- Meza, M. (2012). Biodegradabilidad de polietileno Tereftalato y de Oxopolietileno, a nivel de laboratorio, por la acción de bacterias nativas presentes en humus de lombriz, caballo y gallina. *Escuela Politécnica Del Ejército*, 15.
- Montenegro, A. (2007). Aislamiento Y Selección De Cepas Bacterianas Nativas De Suelos De La Xii Región De Chile, Para La Degradación De Crudos De Petróleo. *Biological Conservation*, 39(1), 5. <https://doi.org/10.1007/s10531-006-9145-3>
- Narváez, flórez; Gómez, M., & Martinez, M. (2008). SELECCIÓN DE BACTERIAS CON CAPACIDAD DEGRADADORA DE HIDROCARBUROS AISLADAS A PARTIR. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, 37(1006), 61–75. Retrieved from http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0122-97612008000100004&script=sci_abstract&tlng=es
- Oliveros, C., & Gómez, J. (2016). Biodegradación de polietileno de tereftalato por microorganismos aislados de sitios de disposición final de residuos sólidos, Táchira, Venezuela. *REDIELUZ*, 6(September), 57–62. Retrieved from <https://steemit.com/steemstem/@lepapillonvzla/biodegradacion-de-polietileno-de-tereftalato-polyethyene-terephthalate-biodegradation>
- Orhan, Y., Hrenović, J., & Büyükgüngör, H. (2004). Biodegradation of plastic compost bags under controlled soil conditions. *Acta Chimica Slovenica*, 51(3), 579–588.
- Pedrique, Magaly; Gutiérrez, S. (2008). *CULTIVO DE LOS MICROORGANISMOS*. Retrieved from http://www.ucv.ve/fileadmin/user_upload/facultad_farmacia/catedraMicro/08_Tema_5_Cultivo.pdf
- Peraza, A. (2017). *Estudio preliminar de la biodegradación de plásticos por bacterias marinas . Preliminary study of plastic biodegradation by marine bacteria .* Universidad de La Laguna.
- Pometto, Lee, Fratzke, & Bailey. (2007). Biodegradation of degradable plastic polyethylene by phanerochaete and streptomyces species. *Publmed*, 678–685. Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16348434>
- Posada, B. (2013). La Degradacion de Plasticos.pdf. *Revista Universidad Eafit*, 1, 67–94.
- Quinchía, A., & Maya, S. (2015). Degradabilidad de Polietileno de Baja Densidad –LDPE utilizando Pycnopus sanguineus UTCH 03. *Escuela de Ingeniería de Antioquía*, 9.
- R. Majid. (2014). Polyethylene degradation by Pseudomonas putida S3A. *International Journal of Advanced Research in Biological Sciences*, 1(6), 79–86.
- República, L. (2018). Bolsas plásticas, enemigo silencioso. Retrieved from La República website: <https://larepublica.pe/domingo/1199040-no-las-use/>
- Santillán, M. L. (2018). Una vida de plástico. Retrieved from Ciencia UNAM website: <http://ciencia.unam.mx/leer/766/una-vida-de-plastico>
- Shalini, R., & Sasikumar, C. (2015). Biodegradation of Low Density Polythene Materials Using Microbial Consortium-An Overview. *International Journal of Pharmaceutical and Chemical Sciences Issn: 2277-5005*, 4(4). Retrieved from www.ijpsonline.com507
- Torres, D. (2003). El papel de los microorganismos en la biodegradación de compuestos tóxicos. *Ecosistemas: Revista Científica y Técnica de Ecología y Medio Ambiente*. Retrieved from <http://www.aet.org/ecosistemas/032/informe1.htm>
- Uribe, D., Giraldo, D., & Gutiérrez, S. (2010). Biodegradación de polietileno de baja densidad

por acción de un consorcio microbiano aislado de un relleno sanitario , Lima , Perú
Biodegradation of low density polyethylene by the action of a microbial consortium isolated
from a landfill , Lima , Peru. *Revista Peruana de Biología*, 17(1), 133–136.

Vázquez-Morillas, A., Sotelo-Navarro, P. X., Espinoza-Valdemas, R. M., Velasco-Pérez, M.,
Quecholac-Piña, X., Beltrán-Villavicencio, M., & Álvarez-Zeferino, J. C. (2018).
Degradación y Biodegradación de Plásticos. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.21504.48642>

Velasco, M. (2017). *Biodegradación del polietileno de baja densidad, mediante el uso del
lepidóptero *Gallería mellonella* bajo condiciones térmicas controladas en el 2017.*