

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



Una Institución Adventista

Comparación de condiciones para la degradabilidad de biopolímero, plásticos oxo-biodegradables y polietileno de baja densidad

Por:

Jose Manuel Cahuana Sanchez

Asesor:

Mg. Jackson Edgardo Perez Carpio

Lima, diciembre de 2019

**DECLARACIÓN JURADA
DE AUTORIA DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN**

Mg. Jackson Edgardo Perez Carpio, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que el presente informe de investigación titulado: "Comparación de condiciones para la degradabilidad de biopolímero, plásticos oxo-biodegradables y polietileno de baja densidad" constituye la memoria que presenta el estudiante Jose Manuel Cahuana Sanchez para aspirar al Grado Académico 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, al 02 de diciembre del año 2019.



Mg. Jackson Edgardo Perez Carpio

Comparación de condiciones para la degradabilidad de biopolímero,
plásticos oxo-biodegradables y polietileno de baja densidad

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Presentado para optar el Grado Académico de Bachiller en
Ingeniería Ambiental

JURADO CALIFICADOR



Mg. Milda Amparo Cruz Huaranga

Presidente



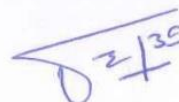
Dr. Alex Rubén Huamán De La Cruz

Secretario



Ing. Jappsem Justo Valeriano Mamani

Vocal



Dr. Enrique Vega Beteta

Vocal



Mg. Jackson Edgardo Perez Carpio

Asesor

Lima, 02 de diciembre de 2019

Comparación de condiciones para la degradabilidad de biopolímero, plásticos oxo-biodegradables y polietileno de baja densidad

COMPARISON OF CONDITIONS FOR DEGRADABILITY OF BIOPOLYMER, OXO-BIODEGRADABLE PLASTICS AND LOW DENSITY POLYETHYLENE

JOSE MANUEL CAHUANA SANCHEZ*

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

Resumen

En el Perú las bolsas plásticas de polietileno de baja densidad (PEBD) son el material más utilizado con el 31% de la producción total de plásticos, eso quiere decir 310 000 toneladas en el año 2018. Como alternativa de solución medioambiental surge nuevas tecnologías como el material oxo-biodegradable y el biopolímero, que tienen mayor facilidad para degradarse en escenarios controlados. Por ello el objetivo de este trabajo es comparar las condiciones para la degradabilidad de biopolímero, plásticos oxo-biodegradables y polietileno de baja densidad. Para ello se analizaron distintas bibliografías en el que se considera el material a degradar con el medio degradante expuestos a diferentes condiciones como: luz solar, humedad, temperatura, procesos aeróbicos o anaeróbicos, aditivos químicos, pH y tiempo de exposición al tratamiento, teniendo como resultado una forma de evidenciar la eficiencia de degradación a esas condiciones. Se concluye que en diferentes investigaciones se ha logrado reducir el tiempo de degradación del material evaluado y que es necesario mayor investigación en los aditivos que requieren las bolsas oxo-biodegradables ya que estas requieren de prooxidantes que por medio de los microorganismos se da la transferencia de aditivos químicos a la biota, Además se denomina erróneamente "biodegradable" a este material que al descomponerse deja fragmentos de micro plástico.

Palabras clave: Degradación, Polietileno, oxo biodegradable, biopolímero.

Abstract

In Peru, plastic bags of low density polyethylene (PEBD) are the most used material with 31% of the total production of plastics, that is 310,000 tons in 2018. As an alternative environmental solution, new technologies such as the oxo-biodegradable material and the biopolymer, which are more easily degraded in controlled scenarios. Therefore, the objective of this work is to compare the conditions for the degradability of biopolymer, oxo-biodegradable plastics and low density polyethylene. For this, different bibliographies were analyzed in which the material to be degraded with the degrading medium is considered exposed to different conditions such as: sunlight, humidity, temperature, aerobic or anaerobic processes, chemical additives, pH and time of exposure to treatment, having as result a way to demonstrate the efficiency of degradation to these conditions. It is concluded that in different investigations it has been possible to reduce the degradation time of the material evaluated and that more research is needed in the additives that require oxo-biodegradable bags since these require prooxidants that through the microorganisms the transfer of Chemical additives to biota, This material is also mistakenly called "biodegradable" which, when decomposed, leaves micro plastic fragments.

Key words: Degradation, Polyethylene, biodegradable oxo, biopolymer.

Autor de correspondencia:

Universidad Peruana Unión. Km. 19 Carretera Central, Ñaña, Lima

Tel.: 989 265 834

E-mail: josecahuana@upeu.edu.pe

INTRODUCCIÓN

En el siglo XX, una gran ayuda para las poblaciones fue la elaboración del plástico, pero ahora es una gran preocupación por su tiempo de vida en el planeta y la abundancia de volumen. (Sarria & Gallo, 2016)

En el siglo XXI, uno de los problemas más complejos para las autoridades es el aumento desproporcionado de residuos sólidos, debido al crecimiento poblacional, estilo de vida consumista y alto poder adquisitivo (Vasquez et al., 2016)

Según Ellen Macarthur Foundation (2016) cada año se utiliza en promedio en el planeta 5 billones de bolsas, esto es casi 10 millones de bolsas por minuto, además en los océanos son vertidos 8 millones de toneladas de plástico. Esto quiere decir que por persona se usa aproximadamente 30 kilos de plástico.

En el Perú, la ciudad de Lima y Callao al día generan 886 toneladas de residuos de plástico, siendo ellos los mayores productores de este residuo en el país con 46%. (MINAM, 2018b)

A pesar que el peso de los desechos de plástico es tan solo el 11% del total de residuos sólidos en el mundo, este tiene un mayor volumen para su disposición final en rellenos sanitarios, su aspecto artificial causa un impacto visual negativo, por ser inerte no tiene reacción química con los componentes como suelo, agua y aire, sin embargo indirectamente daña el sistema digestivo de diversas especies que confunden este material con su alimento, muriendo de obstrucción intestinal además de la facilidad con la que se disipan en áreas libres. (Castellón, 2015)

El medio ambiente es receptor de residuos plásticos que llegan por una inadecuada gestión, estos contaminantes no solo son de gran tamaño, sino que existen plásticos del tamaño igual o incluso menor al de un milímetro (Purca & Henostroza, 2017), como resultado de la degradación de los plásticos que puede ser desde décadas hasta cientos de años, esto depende del tipo con el que fue fabricado. (Hernández, Chistoph, Barraza, Ventura, & Muñoz, 2015)

Los plásticos de menor tamaño son conocidos como “micro plásticos”, estos son de mayor preocupación ya que estos se dispersan en diferentes partes del medio ambiente como fuentes de agua superficiales, océano, aire y suelo. (Sarria & Gallo, 2016)

Los micro plásticos debido a su dimensión son más propensos a ser ingeridos por una cantidad mayor de animales que los macro plásticos, estos micro plásticos pueden adsorber y luego liberar contaminantes tóxicos siendo aún más peligrosos para el planeta. (Greenpeace, 2016)

Debido a todos los problemas que son causados a nivel global por plásticos, las grandes empresas crearon la tendencia “marketing verde” que busca la investigación y creación de empaques biodegradables (Rivera, Contreras, Ariza, Bonilla, & Cruz, 2019)

Sin embargo, es necesario conocer los tiempos y las condiciones de degradación de los plásticos convencionales, los Oxo-biodegradables y de los biopolímeros. (Alvarez, Vasquez, Beltrán, Enríquez, & Gutiérrez, 2014)

Sandoval, (2014) realizó una publicación titulada: “Estudio de la biodegradación de bolsas oxo-biodegradables utilizando compost maduro seco, con aireación y simulando condiciones ambientales de humedad y temperatura de un relleno sanitario ubicado en la costa ecuatoriana.”, donde su objetivo fue estudiar la degradación de bolsas biodegradables en tierra compostable madura seca, con aireación y humedad, además de realizar un muestreo de bolsas plásticas oxo-biodegradables utilizadas por cadenas de tiendas de distintos productos y seleccionar cuatro tipos de bolsas plásticas oxo-biodegradables. Para ello se recolectó y seleccionó cuatro muestras de bolsas más utilizadas por cadenas de tiendas, las cuales fueron sometidas a radiación solar durante dos meses, luego se utilizaron diferentes sustratos donde las muestras fueron sembradas y se simularon condiciones de temperatura y humedad por tres meses dentro de un biorreactor. Se evaluó las propiedades físicas, mecánicas, térmicas y espectroscópicas, donde se constató que presentaron un inicio de degradación donde existió disminución de peso molecular, espesor y resistencia de tracción y formación de grupos carbonilos por oxidación.

Meza (2016), presento el estudio “Elaboración de bioplásticos a partir del almidón residual obtenido de peladores de papa y determinación de su biodegradabilidad a nivel de laboratorio”. Después del proceso de elaboración de bioplástico, el método de degradación que utilizo fue a través del compost, utilizando el polietileno de baja densidad (PEBD) y celulosa como controles y el bioplástico. el bioplástico obtuvo 64.21%, la celulosa con 63.51%, y el PEBD obtuvo 6.95%.

Castellon, Tejeda y Tejada (2016) en su investigación titulada “Evaluación de la degradación ambiental de bolsas plásticas biodegradables”, evaluó y comparó la degradabilidad de las bolsas de plástico degradables frente a las convencionales, midiendo como parámetros la pérdida de masa, absorción de agua y resistencia mecánica. Como resultado se obtuvo que las bolsas degradables tuvieron mayor pérdida de masa, mayor absorción de agua y menor resistencia que las convencionales, concluyendo que los fabricantes de bolsas degradables realizan modificaciones químicas a estas ayudando a su degradación.

En base a la problemática planteada se desarrolla una revisión teórica de las condiciones para la degradabilidad de biopolímeros, plásticos oxo-biodegradables y polietileno de baja densidad.

RESIDUOS SÓLIDOS

El OEFA (2014) define a los residuos sólidos como: “sustancias, productos o subproductos en estado sólido o semisólido, desechados por su generador”, un generador es la persona que como consecuencia de las actividades que realiza produce residuos sólidos, usualmente se piensa que este carece de valor monetario y es popularmente conocido como “basura”.

Montes (2009) define a los residuos sólidos como “aquellos materiales orgánicos o inorgánicos de naturaleza compacta, que han sido desechados luego de consumir su parte vital”.

Mientras que la ley N° 27314 - Ley General de Residuos Sólidos los define como: todos aquellos residuos que fueron generados en actividades domésticas. Estos desechos podrían ser restos de comida, revistas, periódicos, botellas, latas, cartón, pañales descartables, restos de aseo, entre otros similares.

En el OEFA (2014) se encuentra la clasificación de los residuos sólidos por su naturaleza:

- Orgánicos, son desechos de origen animal o vegetal, que se descomponen de forma natural y generan gases de dióxido de carbono, metano y lixiviados. Estos desechos con un adecuado tratamiento pueden ser reaprovechados como mejoradores de suelo y fertilizantes.
- Inorgánicos, estos desechos son de origen mineral o elaborados industrialmente que no se descomponen fácilmente sin embargo gran cantidad de ellos pueden ser aprovechados mediante el reciclaje.

Según el MINAM (2019), en el Perú diariamente se genera 19 mil toneladas aproximadamente de residuos sólidos municipales, lo que equivale a 3 estadios nacionales llenos de residuos. Del total de esto, aproximadamente el 50% es generado en Lima metropolitana y la provincia Constitucional del Callao. Además, la generación per cápita de residuos sólidos domiciliarios es aproximadamente de 0.6 kilogramos por habitante por día. (SINIA, 2018)

La composición de estos residuos sólidos generados en el Perú es aproximadamente del 54% de origen orgánico, 20% residuos sólidos inorgánicos valorizables, 19% residuos no valorizables y 7% son peligrosos. El caracterizar los residuos sólidos en el Perú sirve para tener en cuenta el tipo de residuo que se genera y como se puede reaprovechar, tratar o dar su adecuada disposición final. Sin embargo, solo el 52% de los residuos son dispuestos en rellenos sanitarios y el otro 48% en botaderos informales que según el OEFA son aproximadamente 1585 en todo el país. (MINAM, 2019)

Es por ello que ley N° 27314 - Ley General de Residuos Sólidos, busca asegurar un manejo

adecuado de los residuos sólidos que sea sanitaria y ambientalmente correcto. Así también el D.S. N° 014-2017-MINAM - Reglamento de la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos tiene como uno de sus objetivos la minimización de residuos sólidos, la recuperación y valorización de los mismos mediante el reciclaje y la conversión a compost dependiendo el tipo de residuo.

PLÁSTICOS

La RAE (2018) define la palabra “plástico” como: “Dicho de un material: Que, mediante una compresión, puede cambiar de forma y conservar esta de modo permanente, a diferencia de los cuerpos elásticos.” Asimismo, da una definición para “bolsa de plástico”: “Dicho de ciertos materiales sintéticos: Que pueden moldearse fácilmente y están compuestos principalmente por polímeros, como la celulosa.”

Los plásticos pueden ser clasificados por su procedencia:

- Natural: Este se obtiene directamente de materias primas vegetal o proveniente de un animal.
- Sintético: Estas son fabricadas con compuestos derivados del petróleo, gas natural u otro.

Mediante la extracción y el procesamiento de los recursos naturales que existen en el planeta sean renovables o no renovables. (Vásquez, Villavicencio, Velasco, & Valdemar, 2016)

Así mismo, la Sociedad de las Industrias Plásticas (SPI) en 1988 elaboro los códigos de identificación de resinas, un medio para clasificar a los distintos tipos de plásticos desechos domésticos. Estos tienen un número dentro de un símbolo de reciclado, lo cual indica que tipo es para así mejorar la eficiencia del reciclaje. (ASTM, 2010)

Tabla 1
Clasificación de plástico según su composición química

Número	Tipo de plástico
1	PET (Polietileno tereftalato)
2	HDPE (Polietileno de alta densidad)
3	V (Cloruro de polivinilo)
4	LDPE (Polietileno de baja densidad)
5	PP (Polipropileno)
6	PP (Polipropileno)
7	PP (Polipropileno)

Fuente: ASTM (2010)

BOLSAS DE POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD (PEBD)

Por los años setenta, las grandes empresas optaron por una nueva tecnología, que era la elaboración de bolsas, con la aparición estas y su bajo costo, el papel fue reemplazado rápidamente. (Hernán, 2010)

Velasco (2017) indica que el PEBD es un tipo de plástico utilizado en múltiples productos tal es el caso de bolsas de un solo uso, tapas, envases, etc. está compuesto a partir del petróleo, y es químicamente el polímero termoplástico más sencillo, conformado por unidades repetitivas de etileno, de baja densidad en comparación con otros materiales como metales; las razones por la que se eligen este material son por su bajo costo de transporte, por su peso y maleabilidad; en promedio una bolsa de compras pesa 7 gramos y resiste una carga de 10 kilos, llegando a resistir 1 700 veces su propio peso. (Hernán, 2010)

Entre sus características está el de alta resistencia térmica, química, y la de flexibilidad, resistente a la tensión, compresión, desgaste y tracción, además de aislante térmico, no es tóxico, es impermeable y moldeable. (Velasco, 2017)

BOLSAS OXO BIODEGRADABLES

Con la finalidad de darle a los usuarios una nueva alternativa más tolerable al ambiente, los fabricantes elaboran este tipo de bolsas, pero la denominación que se le atribuyó fue de “biodegradable” podría ser solo un tecnicismo ya que al culminar su descomposición no las vuelve un elemento amigable al medio ambiente. (National Geographic, 2019)

Las bolsas oxo biodegradables son aquellas elaboradas de polietileno de alta densidad (PEAD) que es un termoplástico petroquímico comprendida de cadenas largas enredadas de carbono e hidrogeno con un 2 a 4% de TDPA (Totally Degradable Polymer Additives)

BOLSAS DE BIO POLÍMEROS

Un plástico biodegradable es definido como aquel que en su degradación llega hasta CO₂, CH₄, agua y biomasa como resultado del trabajo de los microorganismos, este contiene al menos 50% de sólidos volátiles, además de pequeñas concentraciones de sustancias químicas peligrosas. La degradación de este plástico se da en tiempos prudentes, en condiciones de oxígeno la degradación puede darse en 6 meses hasta un 90% y sin oxígeno en 2 meses. (MINAM, 2018b)

En comparación de los materiales plásticos, esta nueva alternativa de biopolímeros o de papel no ofrecen mejor resistencia mecánica o física y son susceptibles a rupturas con líquidos; mientras que, el mayor punto en contra es su disposición final, ya que es seis veces mayor al de las bolsas convencionales, por consecuencia ocupa diez veces más espacio en un relleno sanitario. Esto ocasiona un mayor costo de transporte, manipulación almacenamiento y disposición sin dejar de lado la contaminación que esta genera.

Hernán (2010) en su investigación caracterizó las bolsas biodegradables hechas de una mezcla de Ecoflex y un polímero hecho a base de maíz, el cual cumple con las exigencias de biodegradabilidad de Europa, EEUU y Japón, ya que pueden ser degradados por microorganismos en condiciones controladas de compost en doce semanas.

DEGRADACIÓN FÍSICA, QUÍMICA Y BIOLÓGICA DE LAS BOLSAS PLÁSTICAS

Según Males (2013) la degradación es el proceso en el que se desarrollan modificaciones en la estructura del material por acción de transformación mecánica, química y orgánica, dependiendo del tipo de agente que lo cause como la luz solar, calor, frío, etc.

Debido a la interacción del material con estos fenómenos los cambios pueden desarrollarse de forma física y química presentando las siguientes características:

- a) Propiedades físicas alteradas:
 - Erosión superficial
 - Formación de grietas
 - Pérdida de elasticidad
 - Pérdida de resistencia a la tracción
 - Pérdida de brillo
- b) Propiedades químicas:
 - Reacciones entrecruzamiento
 - Cambios en sustituyentes laterales
 - Ruptura de cadenas

TIPOS DE DEGRADACIÓN DE ACUERDO AL AGENTE CAUSAL

Cada agente externo que tenga acción sobre el material dará lugar a un tipo de degradación diferente, mientras

que en la naturaleza estas acciones se dan de forma simultánea, y el impacto de cada tipo influirá dependiendo de las características del material plástico como naturaleza de los grupos funcionales, permeabilidad al agua, solubilidad, morfología y resistencia a tracción. (Males, 2013)

En la Tabla 2 se especifica el tipo de degradación sobre el material plástico y el agente causante.

Tabla 2

Tipos de degradación

Agente causal	Tipo de degradación
Luz solar	Foto degradación
Calor	Degradación térmica
Agentes atmosféricos	Degradación oxidativa
Humedad	Degradación hidrolítica
Hongos y microorganismos	Biodegradación
Luz + oxígeno	Foto degradación oxidativa
Calor + oxígeno	Degradación termoxidativa
Luz + humedad	Degradación foto hidrolítica

Fuente: Males (2013)

Males (2013) define los tipos de degradación en:

FOTO DEGRADACIÓN

Es originada por la exposición del material plástico a radiación ultravioleta produciendo la ruptura de los enlaces covalentes, amarillamiento y fragilidad de los polímeros orgánicos.

DEGRADACIÓN TÉRMICA

El material sometido a aumento de temperatura sufre la ruptura homolítica de los enlaces covalentes de la cadena; y por ello a mayor temperatura mayor velocidad de degradación.

DEGRADACIÓN OXIDATIVA

Consiste en el proceso a la exposición a oxígeno activo que provoca una reacción orgánica de oxido-reducción, en el que el oxígeno se adhiere en los carbonos susceptibles de la cadena, formando peróxido que se descompone creando acetona o aldehído.

DEGRADACIÓN HIDROLÍTICA

El material plástico al entrar en contacto con un medio acuoso por un tiempo prolongado causa ruptura de puentes de hidrogeno e hinchamiento.

BIODEGRADACIÓN

Según la definición de la ASTM (American Society for Testing & Material), es el proceso en el que bajo condiciones determinadas como humedad, pH, temperatura y oxígeno disponible, los microorganismos como bacterias, hongos, levaduras y enzimas consumen como alimento la sustancia polimérica del material plástico para producir energía, siendo que su forma original desaparece y se crean otras sustancias como aminoácidos, nuevos tejidos y organismos.

DEGRADACIÓN FOTO DEGRADA Y TERMO-OXIDATIVA

Debido a que la energía de los rayos UV es lo suficientemente fuerte para romper los enlaces moleculares, en los polímeros, provoca la degradación termo-oxidativa lo cual se traduce en fragilidad, decoloración y una reducción en las propiedades físicas y eléctricas. Casi todos los

polímeros se deterioran al estar expuestos a la continua radiación solar, aunque varían ampliamente en su resistencia a la foto-degradación.

Los cambios físico-químicos los cuales ocurren durante las reacciones de foto-oxidación son caracterizadas por un aumento en la concentración del oxígeno que contienen los grupos tales como los peróxidos, hidroperóxidos y también los grupos carbonilo o cetona; siendo que los productos de la degradación aeróbica son agua, dióxido de carbono, y en algunos casos metano, los mismos que son gases del efecto invernadero.

(Hernán, 2010)

DEGRADACIÓN MECÁNICA

Los biopolímeros pueden someterse a varias degradaciones mecánicas durante su procesamiento, almacenamiento y uso. La degradación mecánica puede tener lugar debido a las fuerzas de cizallamiento, tensión y / o compresión. La agitación, molienda y extrusión son las principales causas de la degradación mecánica durante el proceso. El fenómeno básico implicado cuando se somete el polímero a muy potentes fuerzas de cizallamiento, es la rotura de la molécula, la degradación mecánica reduce el peso molecular del polímero. Aunque los factores mecánicos no son predominantes durante la biodegradación, pueden activar o acelerarlo. En condiciones de campo, las tensiones mecánicas actúan en sinergia con otros parámetros ambientales, tales como temperatura, radiación UV, humedad, etc.

TIEMPO DE DEGRADACIÓN DE BOLSAS PLÁSTICAS

La degradación de las bolsas plásticas tradicionales demora aproximadamente 400 años (Moreno, González-Mora, Villena, Campos, & Moreno, 2017); mientras que las oxo-biodegradables de 12 a 15 meses (Musioł et al., 2017; Ojeda et al., 2009) y los de biopolímero de 1 a 3 meses. (Gómez & Michel, 2013; Moreno et al., 2017; Nagy, Todica, Cioica, Cota, & Niculaescu, 2018; Nauendorf et al., 2016)

FASES DE DEGRADACIÓN DE LAS BOLSAS PLÁSTICAS

Las bolsas en su proceso de degradación pasan por tres fases:

- Primera fase, denominada vida útil, la finalidad en esta etapa es el uso del producto durante un periodo de tiempo razonable y termina con una adecuada segregación y disposición.
- Segunda fase, inicia cuando el material está expuesto a condiciones de degradación abiótica, siendo un proceso de oxidación en el que el oxígeno, la luz ultravioleta y el calor provoca la degradación progresiva. Es un proceso crítico para el material porque es adherente a toxinas siendo una fuente de contaminación del medio ambiente que podría pasar a la cadena alimentaria por la ingesta de este. Se estima que este proceso tarda siglos en lugar de años como solía pensarse en el que los restos de plásticos se fragmentan hasta llegar a un peso molecular menor a 5 000 dalton.
- Tercera fase, se desarrolla después de la fase de degradación abiótica en el que cuando el material alcanza pesos menores a 5 000 dalton pueden ser ingeridos por bacterias, algas y hongos.

MICRO PLÁSTICO RESULTANTE DE LA DEGRADACIÓN DE BOLSAS PLÁSTICAS

Hodgson, Bréchon y Thompson, (2018) informaron sobre el peligro de las estos componentes plásticos de diámetro menor a 1 micra en el medio marino, se ha encontrado este componente en animales acuáticos como tortugas, peces, moluscos, etc. Los fragmentos de micro plásticos alcanzan diámetros promedio de 488 μm y una bolsa puede generar hasta una cantidad de 1.75 millones de fragmentos en el mar. El IMARPE durante el 2014 y 2015 monitoreo cuatro playas: Vesique

(Chimbote), Albufera de Medio Mundo (Huacho), Costa Azul (Ventanilla, Lima); y El Chaco (Pisco), dando como resultado la presencia de micro plásticos en todos los casos. (Purca & Henostroza, 2017)

Además, los plásticos contienen aditivos que son necesarios para tener sus características como dureza, color, rigidez, estas sustancias son peligrosas y al ser liberadas en el proceso de degradación, se ha identificado que dañan el sistema endocrino en animales marinos y hasta al ser humano. (MINAM, 2018a)

En investigaciones de la FAO (2019), se halló micro plásticos en diversos alimentos de consumo humano como en la sal de mesa, miel y cerveza, pero la mayoría de estudios científicos hablan sobre la presencia de este componente en los mariscos, como la fuente mas directa de exposición al humano. En la figura 1 se muestra el ingreso de los micro plásticos a la cadena alimentaria luego de su degradación a distintas condiciones medio ambientales.

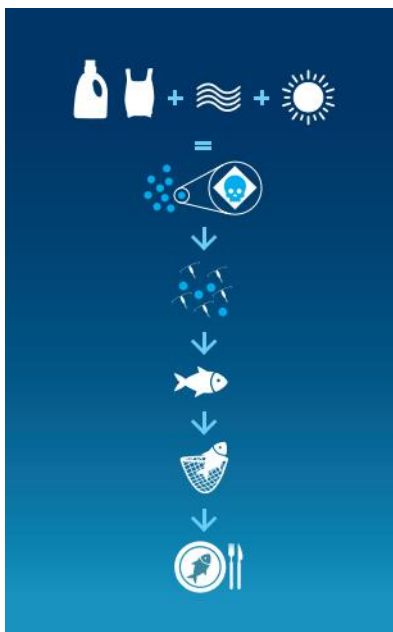


Figura 1. Ingreso de micro plásticos a la cadena alimentaria (FAO, 2019)

A continuación, se describe el proceso requerido para la degradación de tres tipos de bolsas plásticas

DEGRADACIÓN DE BOLSAS DE POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD

Males (2013) indica que a pesar de que el Polietileno ha logrado posicionarse como un material de empaque dominante por todas las ventajas que presenta, ha recibido muchas críticas al ser el más generado y a su incapacidad de degradarse rápidamente bajo condiciones ambientales; ya que al no ser reciclado pasa a ser dispuesto en los rellenos sanitarios donde las condiciones de insuficiencia de oxígeno y agua no permiten que las bacterias anaeróbicas se desarrollen y esta labor lo desarrolle las anaeróbicas que son ineficientes; se ha estimado su degradación en estas condiciones y es menos de 0.5% en 100 años y 1% si es expuesto a la luz solar por dos años antes de su biodegradación. (Hernán, 2010) Y en los casos de mala gestión de residuos pueden llegar a ser parte de ecosistemas marinos, bosques, etc, causando daños no solo paisajísticos, sino también daños a los seres vivos. (Revilla, 2018)

La mayoría de las estrategias direccionadas para producir materiales amigables con el medio ambiente están enfocadas a facilitar la desintegración del Polietileno mediante la incorporación de grupos carbonilo en su estructura o bien mediante la generación de éstos “in situ”, por la adición de

aditivos pro-degradantes, incluyendo activadores de luz UV como son las cetonas aromáticas, sales de metales de transición y sus complejos. (Males, 2013)

La US National Oceanic Atmospheric Administration descubrió que el tiempo de degradación de los plásticos en medios acuáticos toman más tiempo en degradarse debido a las temperaturas bajas, estimando unos 10 años para el proceso. (Hernán, 2010)

DEGRADACIÓN DE BOLSAS OXO BIODEGRADABLES

El proceso de degradación de estas bolsas es programable para realizarlo en 12 a 15 meses (Musioł et al., 2017; Ojeda et al., 2009) y no en siglos como tardarían las bolsas desarrolladas con polietileno; este proceso consiste en una descomposición por varias fases a condiciones de temperatura, humedad y oxigenación muy particulares que se pueden resumir en dos, la primera se inicia al someterlas a radiación solar y la segunda a tensión mecánica degradándose por oxidación.

Esta tecnología oxo-biodegradable acelera la degradación abiótica que envejeciendo el material con la adición de aditivos pro-oxidantes o pro-degradantes para disminuir su peso molecular, carácter hidrófobo, el carácter de las cadenas de polímero y al final forma compuestos más livianos y asimilables para el metabolismo microbiano, bacteriano, algas y hongos. (Quiroz, Cadena, Sinche, Chango, & Alda, 2009)

(Males, 2013) también define este proceso en el que estos polímeros requieren degradarse oxidativamente ya sea por la acción de la radiación UV o térmica, para poder reducir su masa molecular formando grupos oxigenados los cuales son más fáciles de metabolizar por los microorganismos presentes en los suelos.

DEGRADACIÓN DE BOLSAS DE BIO POLÍMEROS

Las aplicaciones comerciales que se le da a los biopolímeros obtenidos por la fermentación de materiales orgánicos como: Biopol (BHP), Pululano, ácido poliláctico (PLA) derivado del maíz, papa, etc., son solo biodegradables en condiciones específicas, por lo que deberían ser dispuestos en plantas de compostaje adecuadas u otro tipo de tratamiento. Su única alternativa luego de ser usado es la disposición final en plantas de compostaje, imposibilitado totalmente de ser reciclado. El reciclaje de plástico se vería afectado al encontrarse cantidades mínimas de materiales biodegradables. Estos materiales biodegradables no desaparecen al entrar en contacto con la naturaleza, sino que tiene que estar en condiciones adecuadas, además del tiempo que pasa en su degradación. (Hernán, 2010)

Ruiz, Montoya y Paniagua, (2010) en su investigación titulada “Degradabilidad de un polímero de almidón de yuca”, estudiaron la degradabilidad de un material fabricado con almidón de yuca, donde se sometió a distintos medios como agua dulce y salada, luz solar y la simulación de un relleno sanitario. El polímero se degradó al estar sometido a la simulación de relleno sanitario y agua salada, en menor medida con la luz solar, mientras que en agua dulce este polímero no se degradó. Además, en la *figura 2* se observa las microfotografías realizadas al polímero de almidón de yuca sometido a la luz solar.

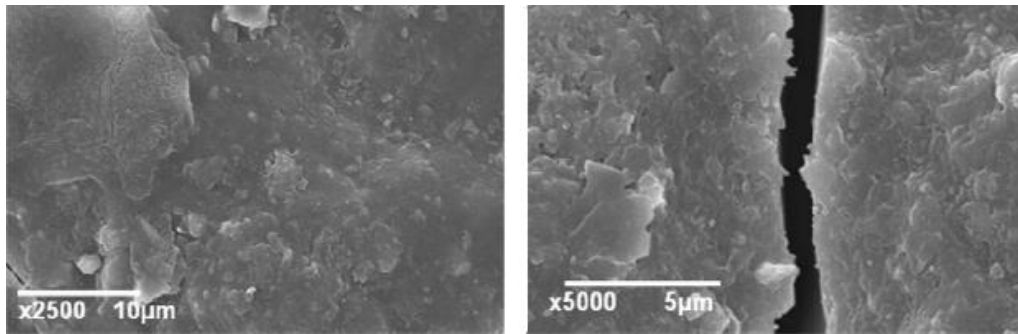


Figura 2. Micrografía electrónica de barrido para polímero de almidón de yuca sometido a la luz solar. (Ruiz, Montoya & Paniagua,2010)

ANÁLISIS DE LA INVESTIGACIÓN

En la tabla 3 se desarrolla la comparación de diferentes investigaciones en base a la degradación de tres tipos de bolsas plásticas, el polietileno, oxo biodegradables y biopolímeros en diferentes escenarios denominado medio degradante como en compostaje, intemperie, medio marino o suelo de cultivo, etc. en los que se estudia la influencia de diferentes condiciones como exposición o no a luz solar, temperatura, humedad, proceso aeróbico o anaeróbico, pH y aditivos prooxidantes requerido en caso de los oxo biodegradable; en un determinado tiempo de prueba del ensayo.

Tabla 3. Comparación de diferentes investigaciones en base a la degradación de tres tipos de bolsas plásticas

N°	Título de investigación	Autor/año	Material a degradar	Medio degradante	Luz solar	Temperatura	Humedad	Proceso aeróbico o anaeróbico	pH	Tiempo de prueba	Aditivo
1	Abiotic and biotic degradation of Oxo-biodegradable polyethylenes	Ojeda et al. (2009)	Oxo-biodegradables	Un año a la intemperie + 3 meses en compost	Si	58 °C	50%	Aeróbico	X	15 meses	Pro-oxidante
2	Assessment of plastic waste materials degradation through near infrared	Alassali, Fiore, y Kuchta (2018)	Polietileno	Estrés térmico en horno Binder	X	85, 105 y 120°C	X	Aeróbico	X	504 horas	X
3	Biodegradability of conventional and bio-based plastics and natural fiber composites during composting, anaerobic digestion and long-term soil incubation	Gómez y Michel, (2013)	Bioplástico hecho a base de almidón y polietileno	Compostaje	Si	55°C	60%	Aeróbico	6	115 días	PETE + 1% de aditivo
				Digestión anaerobia	X	SI	64%	Anaeróbica	X	50 días	
				Incubación en suelo	Si	23°C	3%	Anaeróbica	X	660 días	
4	Degradation of plastic carrier bags in the marine environment	O'Brine y Thompson (2010)	Oxo-biodegradables	Medio Marino	Si	23°C	Si	Aeróbico	X	40 semanas	Aditivos plásticos totalmente degradables (TDPA)
			Biopolímero de almidón de maíz					Aeróbico	X	8 semanas	
			Polietileno					Aeróbico	X	42 semanas	
5	Biodegradation kinetic modeling of oxo-biodegradable polypropylene/ polylactide/nanoclay blends and composites under controlled composting conditions	Sable, Mandal, Ahuja y Bhunia (2019)	Oxo-biodegradable	Compostaje según ASTM D 5338	Si	60°C	50%	Aeróbico	7.3	45 días	Pro-oxidantes de metales de transición en forma de estearatos
6	Deterioration pattern of six biodegradable, potentially low-environmental impact mulches in field conditions	Moreno et al. (2017)	Biopolímero de almidón vegetal de patata	Suelo de cultivo de pimiento	Si	3.5-32.6°C	Riego	Aeróbico	8.2	200 días	X
			Polietileno						7	99 días	X
7	Microbial colonization and degradation of polyethylene and biodegradable plastic bags in temperate fine-grained organic-rich marine sediments	Nauendorf et al. (2016)	Biopolímero, 50% poliéster, 20% de almidón de maíz y adicional	28m profundidad del agua con lodos activos / inactivos sedimentarios	X	23°C	Si	Aeróbico /Anaeróbico	7	99 días	X

8	Ingestion and fragmentation of plastic carrier bags by the amphipod <i>Orchestia gammarellus</i> : Effects of plastic type and fouling load	Hodgson et al. (2018)	Polietileno	Anfípodo <i>Orchestia gammarellus</i>	Si	15 °C	X	Aeróbico	7	7 días	Sin adición de comida
9	Forensic engineering of advanced polymeric materials Part IV: Case study of oxo-biodegradable polyethylene commercial bag – Aging in biotic and abiotic environment	Musioł et al. (2017)	Oxo-biodegradables	Agua destilada y compostaje	Si	70°C	20%	Aeróbico	6.3-7.5	1 año	X
10	IR Investigation of Some Degraded Starch Based Biopolymers	Nagy et al. (2018)	Biopolímero a base de almidón, agua y glicerol	Hidratación con agua destilada, secado o calentamiento a altas temperaturas	X	80°C, 140°C	1 a 4	Aeróbico	7	7 días	X
11	Insights into the evaluation of the abiotic and biotic degradation rate of commercial pro-oxidant filled polyethylene (PE) thin films	Al-Salem et al. (2019)	Oxo-biodegradables	Envejecimiento acelerado por exposición a la intemperie: radiación UV, suelo,	Si	23°C	50%	Aeróbico	7	456 horas	BaO / BaSO ₄ , Pd,Cr, Cu, Mn, Zn
12	Oxo-biodegradable full carbon backbone polymers e biodegradation behaviour of thermally oxidized polyethylene in an aqueous medium	Chiellini, Corti, y D'Antone (2007)	Oxo-biodegradables y Polietileno	Peroxidación térmicamente + efecto de microorganismos en medio acuoso (río)	Si	20-30°C	1 a 5	Aeróbico	7.4	100 días	Uso de la solución de KOH para atrapar CO ₂
13	Oxo-biodegradable polyolefins show continued and increased thermal oxidative degradation after exposure to light	Vogt y Kleppe (2009)	Oxo-biodegradables	Sometido a Intemperie basado en la norma ISO 4892-3 + exposición térmica oscura	Si	70°C	X	Aeróbico	X	45 días	2% de aditivo pro-oxidante Renatura

En la tabla 4 se complementa la comparación de diferentes investigaciones en base a la degradación de tres tipos de bolsas plásticas, el polietileno, Oxo-biodegradables y biopolímeros en diferentes escenarios denominado medio degradante como en compostaje, intemperie, Medio Marino o Suelo de cultivo, etc. adicional a ello se detallan los métodos para evidenciar la eficiencia de degradación del material, además de los resultados y conclusiones de los autores

Tabla 4. Comparación de diferentes investigaciones en base a la degradación con resultados y conclusiones de los autores

N°	Autor/año	Material a degradar	Medio degradante	Forma de verificación de degradación	Resultados y conclusiones del autor
1	Telmo Ojeda, 2009	Oxo-biodegradables	Un año a la intemperie + 3 meses en compost	Pérdida de masa molar, potencial de mineralización, reducción de propiedades mecánicas y aumento de índice de carbonilo	El polímero debe primero pasar por una etapa de exposición a factores ambientales, como radiación solar en presencia de oxígeno, para ser posteriormente susceptible al ataque enzimático. Se obtiene bajo rendimiento en degradación
2	Ayah Alassali, 2018	Polietileno	Estrés térmico en horno Binder	Análisis de Espectroscopia de infrarrojo cercano (NIR)	La temperatura a la que fue expuesta no excede a la temperatura de fusión
3	F. Eddie, 2013	Bioplástico hecho a base de almidón y polietileno	Compostaje Digestión anaerobia Incubación en suelo	Mide la cantidad de carbono mineralizado por Micrografía electrónica de barrido SEM, propiedades físicas y químicas como espesor y contenido de carbono.	Se obtuvo mineralización sustancial para biopolímero mas no en el polietileno
4	Tim O'Brine, 2010	Oxo-biodegradables Biopolímero de almidón de maíz Polietileno	Medio Marino	ASTM D3826-98 (2008) método utilizado para cuantificar la degradación	Una bolsa de plástico etiquetado como 'degradable' es probable que se use para una sola aplicación, y podría hacer que los consumidores estén más dispuestos sobre descartarlo, en lugar de reutilizarlo y reciclarlo.
5	Sunil Sable, 2019	Oxo-biodegradable	Compostaje según ASTM D 5338	Mide evolución del CO ₂	Los pro-oxidantes mejoran la oxidación abiótica y la sucesiva descomposición de la cadena polimérica, que hace que el material sea más propenso al ataque microbiano. Como resultado dan un alto porcentaje de evolución de C-CO ₂ en el rango de 8.0% –9.0%.
6	Marta M. Moreno, 2017	Biopolímero de almidón vegetal de patata Polietileno	Suelo de cultivo de pimiento	La resistencia a la perforación de los materiales se midió con un TR-Turon (peso, número de fragmentos y porosidad de superficie)	Se requieren 300 años para la degradación completa de un LDPE delgado de 60 µm. Como resultado se obtuvo valor de superficie cualitativa bajo, peso alto por valor de hinchamiento con agua y sólidos y el número de fragmentos, que eran de un pequeño tamaño (entre 0.09 y 57 mm ²)
7	Alice Nauendorf, 2015	Biopolímero, 50% poliéster, 20% de almidón de maíz y adicional	28m profundidad del agua con lodos activos / inactivos sedimentarios	Peso con una microbalanza electrónica Sartorius M3P, microscopía electrónica (SEM)	No se detectaron signos de biodegradación cuando las bolsas de plástico de polietileno y biodegradables fueron expuestas a productos marinos en condiciones sedimentarias durante 100 días.
8	D.J. Hodgson, 2017	Polietileno	Anfípodo <i>Orchestia gammarellus</i>	Evaluación de la superficie y bordes del material con microscopio electrónico de barrido	Éstos anfípodos trituraron bolsas de plástico, generando 1.75 millones de fragmentos de microplásticos de diámetro promedio 488.59 µm aproximadamente en agua de mar; además contienen aditivos como plastificantes, retardantes y anti-agentes microbianos que son potencialmente tóxicos; es así como a través de los anfípodos se puede facilitar la transferencia de aditivos químicos a la biota.

9	Marta Musiol, 2017	Oxo-biodegradables	Agua destilada y compostaje	El material se controló mediante cambios en el peso molecular, las propiedades térmicas y el enlace cetocarboxílico.	Se degrada lentamente en condiciones de compostaje industrial y 47% de mineralización biológica de este material, de desintegración. La investigación no etiquetó como degradable a este material y debe analizarse más a fondo para evitar la expansión de materiales artificiales en el medio ambiente.
10	Elena Mihaela Nagy, 2018	Biopolímero a base de almidón, agua y glicerol	Hidratación con agua destilada, secado o calentamiento a altas temperaturas	Modificaciones a nivel molecular por extrusión y luego degradación por hidratación o calentamiento por espectroscopia IR	La degradación por secado conduce a la eliminación de una parte del agua sin afectar las vibraciones moleculares del almidón. Las muestras con mayor contenido de almidón se ven menos afectadas por la temperatura.
11	SM Al-Salem, 2019	Oxo-biodegradables	Envejecimiento acelerado por exposición a la intemperie: radiación UV, suelo,	Medición de pigmentación, espesor, aditivos detectado, cristalinidad, contenido químico por electrónica de barrido (SEM) y la Norma ASTM D 882 (2010)	La pérdida de peso alcanzó el 50% después de la exposición a la intemperie, que se atribuyó a la activación de fragmentación de las películas de plástico; el 83% de la pérdida de peso se estimó después de 12 meses de enterramiento en el suelo.
12	Emo Chiellini*, 2007	Oxo-biodegradables y Polietileno	Peroxidación térmicamente + efecto de microorganismos en medio acuoso (río)	La biodegradación efectiva se evaluó monitoreando la cantidad de CO ₂ desarrollada con el tiempo en un respirómetro	Se alcanzaron niveles de degradación de 12 y 48% para los fragmentos degradados y las fracciones respectivamente después de la extracción con acetona hirviendo.
13	Nils B. Vogt, 2008	Oxo-biodegradables	Sometido a Intemperie basado en la norma ISO 4892-3 + exposición térmica oscura	La degradación posterior monitoreada midiendo el alargamiento a la rotura y la resistencia a la tracción	Los resultados demuestran que la degradación oxidativa, después de la luz inicial exposición, continúa más rápidamente en las condiciones térmicas oscuras.

CONCLUSIONES

Se concluye que la base primordial para la gestión de bolsas plásticas es la segregación diferenciada por el tipo de material para determinar el tratamiento adecuado.

Se analizaron distintas bibliografías en el que se considera el material a degradar con el medio degradante expuestos a diferentes condiciones como: luz solar, humedad, temperatura, procesos aeróbicos o anaeróbicos, aditivos químicos, pH y tiempo de exposición al tratamiento, teniendo como resultado técnicas para evidenciar la eficiencia de degradación a esas condiciones.

En las diferentes investigaciones se ha logrado observar los niveles de degradación y reducción del tiempo del proceso, teniendo en cuenta que las bolsas plásticas tradicionales sin tratamiento demoran aproximadamente 400 años; mientras que las oxo-biodegradables de 12 a 15 meses y los de biopolímero de 1 a 3 meses en algún tipo de tratamiento.

Los autores hacen hincapié en que es necesario mayor investigación en los aditivos pro-oxidantes que requieren las bolsas oxo-biodegradables que estas necesitan para degradarse, ya que por medio de los microorganismos se da la transferencia de aditivos químicos a la biota, Además se denomina erróneamente “biodegradable” a este material que al descomponerse deja fragmentos de micro plástico.

Referencias

- Al-Salem, S. M., Al-Hazza'a, A., Karam, H. J., Al-Wadi, M. H., Al-Dhafeeri, A. T., & Al-Rowaih, A. A. (2019). Insights into the evaluation of the abiotic and biotic degradation rate of commercial pro-oxidant filled polyethylene (PE) thin films. *Journal of Environmental Management*, 250(April), 109475.
- Alassali, A., Fiore, S., & Kuchta, K. (2018). Assessment of plastic waste materials degradation through near infrared spectroscopy. *Waste Management*, 82, 71–81.
- Alvarez, J., Vasquez, A., Beltrán, M., Enríquez, M., & Gutiérrez, M. (2014). Degradación de plásticos en condiciones de intemperismo. *Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Aplicada a Residuos Sólidos*, 1, 7–12.
- ASTM. (2010). Identificación de resinas - ASTM. Retrieved October 30, 2019, from https://www.astm.org/SNEWS/SPANISH/SPND10/d2095_spnd10.html
- Castellon, C., Tejada, L., & Tejada, L. (2016). Evaluación de la degradación ambiental de bolsas plásticas biodegradables. *Informador Técnico*, 80(1), 24–31.
- Castellón, H. (2015). Plásticos oxo-biodegradables vs. Plásticos biodegradables: ¿cuál es el camino? *Corporación Americana de Resinas*.
- Chiellini, E., Corti, A., & D'Antone, S. (2007). Oxo-biodegradable full carbon backbone polymers - biodegradation behaviour of thermally oxidized polyethylene in an aqueous medium. *Polymer Degradation and Stability*, 92(7), 1378–1383.
- Ellen Macarthur Foundation. (2016). New Plastics Economy. Retrieved October 28, 2019, from <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/our-work/activities/new-plastics-economy>
- Gómez, E. F., & Michel, F. C. (2013). Biodegradability of conventional and bio-based plastics and natural fiber composites during composting, anaerobic digestion and long-term soil incubation. *Polymer Degradation and Stability*, 98(12), 2583–2591.
- Greenpeace. (2016). *Plásticos en el pescado y el marisco* (1era ed.). Madrid.
- Hernán, M. (2010). *Conveniencia de las bolsas de Polietileno entre sus Alternativas*. Instituto Tecnológico de Buenos Aires.
- Hernández, A., Christoph, R., Barraza, E., Ventura, S., & Muñoz, R. (2015). *Microplásticos en el Lago de Coatepeque*. Instituto de Ciencia, Tecnología e Innovación.
- Hodgson, D. J., Bréchon, A. L., & Thompson, R. C. (2018). Ingestion and fragmentation of plastic carrier bags by the amphipod *Orchestia gammarellus*: Effects of plastic type and fouling

- load. *Marine Pollution Bulletin*, 127(July 2017), 154–159.
- Males, I. (2013). Estudio del Efecto de Aditivos Oxobiodegradables en los Cambios Estructurales de Materiales Nanoestructurados a Base de Mezclas de LLDPE/COC con Nanoarcillas. Centro de Investigación en Química Aplicada.
- Meza, P. (2016). Elaboración de bioplásticos a partir del almidón residual obtenido de peladores de papa y determinación de su biodegradabilidad a nivel de laboratorio. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- MINAM. (2018a). ¿Qué son los microplásticos? Menos Plástico Más Vida. Retrieved October 30, 2019, from <http://www.minam.gob.pe/menos-plastico-mas-vida/que-son-los-microplasticos/>
- MINAM. (2018b). Cifras del mundo y el Perú. Retrieved October 28, 2019, from <http://www.minam.gob.pe/menos-plastico-mas-vida/cifras-del-mundo-y-el-peru/>
- MINAM. (2019). Programa de Incentivos a la mejora de la Gestión Municipal 2019. Lima.
- Montes, C. (2009). El régimen jurídico y ambiental de los residuos sólidos en Argentina (Primera). Bogotá: Xpress Estudio Gráfico y Digital.
- Moreno, M. M., González-Mora, S., Villena, J., Campos, J. A., & Moreno, C. (2017). Deterioration pattern of six biodegradable, potentially low-environmental impact mulches in field conditions. *Journal of Environmental Management*, 200, 490–501.
- Musioł, M., Rydz, J., Janeczek, H., Radecka, I., Jiang, G., & Kowalczyk, M. (2017). Forensic engineering of advanced polymeric materials Part IV: Case study of oxo-biodegradable polyethylene commercial bag – Aging in biotic and abiotic environment. *Waste Management*, 64, 20–27.
- Nagy, E. M., Todica, M., Cioica, N., Cota, C., & Niculaescu, C. (2018). IR Investigation of Some Degraded Starch Based Biopolymers. *Materials Today: Proceedings*, 5(8), 15902–15908.
- Nauendorf, A., Krause, S., Bigalke, N. K., Gorb, E. V., Gorb, S. N., Haeckel, M., ... Treude, T. (2016). Microbial colonization and degradation of polyethylene and biodegradable plastic bags in temperate fine-grained organic-rich marine sediments. *Marine Pollution Bulletin*, 103(1–2), 168–178.
- O’Brine, T., & Thompson, R. C. (2010). Degradation of plastic carrier bags in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin*, 60(12), 2279–2283.
- OEFA. (2014). Fiscalización Ambiental en residuos sólidos de gestión municipal provincial. Lima.
- Ojeda, T. F. M., Dalmolin, E., Forte, M. M. C., Jacques, R. J. S., Bento, F. M., & Camargo, F. A. O. (2009). Abiotic and biotic degradation of oxo-biodegradable polyethylenes. *Polymer Degradation and Stability*, 94(6), 965–970.
- Purca, S., & Henostroza, A. (2017). Presencia de microplásticos en cuatro playas arenosas de Perú. *Revista Peruana de Biología*, 24(1), 101–106.
- Quiroz, F., Cadena, F., Sinche, L., Chango, I., & Alda, M. (2009). Estudio de la degradación en polímeros oxo-biodegradables. *Revista Politécnica*, 30(1), 179–191.
- RAE. (2018). Definición de plástico del Diccionario de la lengua española - Edición del Tricentenario. Retrieved October 27, 2019, from <https://dle.rae.es/?id=TLksLOy>
- Revilla, S. (2018). Eficiencia del homogenizado proveniente del tracto digestivo de la *Galleria Mellonella* en la biodegradación de dos tipos de polietileno de baja densidad. Universidad Cesar Vallejo.
- Rivera, C., Contreras, F., Ariza, W., Bonilla, S., & Cruz, A. (2019). Los empaques biodegradables, una respuesta a la consciencia ambiental de los consumidores. *Realidad Empresarial*, (7), 2–8.
- Sable, S., Mandal, D. K., Ahuja, S., & Bhunia, H. (2019). Biodegradation kinetic modeling of oxo-biodegradable polypropylene/poly lactide/nanoclay blends and composites under controlled composting conditions. *Journal of Environmental Management*, 249(February).
- Sandoval, M. (2014). Estudio de la biodegradación de bolsas oxo-biodegradables utilizando compost maduro seco, con aireación y simulando condiciones ambientales de humedad y temperatura de un relleno sanitario ubicado en la costa ecuatoriana. Quito.
- Sarria, R., & Gallo, J. (2016). La gran problemática ambiental de los residuos plásticos: Microplásticos. *Journal de Ciencia e Ingeniería*, 8(1), 21–27.
- SINIA. (2018). Indicador: Generación per cápita de residuos sólidos domiciliarios por departamento. Retrieved October 27, 2019, from <https://sinia.minam.gob.pe/indicador/1601>
- Vasquez, A., Velasco, M., Espinosa, R., Morales, M., Hernandez, S., Ordaz, M., & Almeida, H.

- (2016). Generación, legislación y valorización de residuos plásticos en iberoamérica. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 32, 63–76.
- Vásquez, A., Villavicencio, M., Velasco, M., & Valdemar, R. (2016). El origen de los plásticos y su impacto en el ambiente. *Asociación Nacional de La Industria Del Plástico*, 1–14.
- Velasco, M. (2017). Biodegradación del polietileno de baja densidad, mediante el uso del lepidóptero *Gallería mellonella* bajo condiciones térmicas controladas en el 2017. Universidad Cesar Vallejo.
- Vogt, N. B., & Kleppe, E. A. (2009). Oxo-biodegradable polyolefins show continued and increased thermal oxidative degradation after exposure to light. *Polymer Degradation and Stability*, 94(4), 659–663.