



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**Revisión Sistemática: Eficacia del gusano de cera *Galleria mellonella* para la biodegradación de materiales plásticos**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
Ingeniero Ambiental

**AUTORES:**

Quezada Angulo, Victor Geovanni ([orcid.org/0000-0001-8021-9085](https://orcid.org/0000-0001-8021-9085))

Ventura Sanchez, Debora Katerine ([orcid.org/0000-0003-3700-2766](https://orcid.org/0000-0003-3700-2766))

**ASESOR:**

Dr. Quezada Alvarez, Medardo Alberto ([orcid.org/0000-0002-0215-5175](https://orcid.org/0000-0002-0215-5175))

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Tratamiento y Gestión de los residuos

**LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:**

Desarrollo Sostenible y Adaptación al Cambio Climático

TRUJILLO- PERÚ

2022

## **DEDICATORIA**

En primer objetivos lugar, le dedico la tesis a Dios, por ser el que me inspira, da energía en lograr mis y principalmente por darme la vida.

En segundo lugar, les dedico a mis padres y hermanos por apoyarme emocionalmente y económicamente, por formarme con grandes principios y buena disciplina en no dejarme vencer con facilidad y lograr cada meta que tengo en mente.

**Débora Ventura Sánchez.**

Ante todo, dedicarle a Dios padre por ser mi soporte espiritual y haberme brindado la sabiduría y bendiciones necesarias para el desarrollo de esta tesis, a mi padre en el cielo, mi madre y demás seres queridos por haberme apoyado con un granito de arena en este proceso y etapa de mi vida que me permitió desarrollarme y formarme como un profesional en la carrera de Ingeniería Ambiental.

**Victor Quezada Angulo**

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios, por darme fuerza para seguir adelante, a mis padres, a mis hermanos que sin ellos no podría haber llegado a donde me encuentro ahora, me brindaron su apoyo en todo momento para no darme por vencida. A mis abuelitos, tíos y demás familiares que estuvieron en todo momento brindándome sus consejos en cada meta que me he propuesto lograrlo.

Agradecer al Dr. Medardo Quezada Álvarez, por su apoyo en las asesorías en brindarnos su apoyo y recomendaciones para culminar nuestra tesis.

A la Universidad César Vallejo, por darme la oportunidad de lograr mis sueños de estudiar y ser profesional.

**Débora Ventura Sánchez**

Agradecer a Dios y a mi padre en el cielo por haber sido mi guía, mi apoyo y fortaleza en el desarrollo de esta tesis, a mi madre, hermanos, tíos y demás seres queridos por haber estado ahí conmigo apoyándome en cada momento con lo que necesitaba, apoyo que me ayudó mucho para seguir adelante y no darme por vencido.

Agradecer al Dr. Medardo Quezada Álvarez por las asesorías brindadas y sobre todo a la Universidad César Vallejo por haberme dado la oportunidad de estudiar la carrera de Ingeniería Ambiental.

**Victor Quezada Angulo**

## Índice de contenidos

DEDICATORIA .....	ii
AGRADECIMIENTO .....	iii
Índice de contenidos .....	iv
Índice de tablas.....	v
Índice de figuras .....	vi
RESUMEN.....	vii
ABSTRACT.....	viii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO .....	4
III. METODOLOGÍA .....	11
3.1. Tipo y diseño de la Investigación .....	11
3.2. Categoría, subcategoría y matriz de categorización .....	11
3.3. Escenario del estudio .....	12
3.4. Participantes.....	12
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	13
3.6. Procedimiento.....	13
3.7. Rigor científico.....	15
3.8. Método de análisis de datos .....	16
3.9. Aspectos éticos .....	16
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	17
V. CONCLUSIONES.....	35
VI. RECOMENDACIONES.....	36
REFERENCIAS .....	37
ANEXOS.....	44

## Índice de tablas

Tabla 1: Estructuras químicas de diferentes plásticos. ....	7
Tabla 2: Recopilación de base de datos .....	12
Tabla 3: Tamaño del gusano de cera <i>Galleria mellonella</i> en sus etapas de desarrollo. ....	17
Tabla 4: Peso y tiempo de biodegradación de algunos tipos de plásticos. ....	24
Tabla 5: Cantidad de plástico biodegradado por el gusano de cera <i>Galleria mellonella</i> en 24 horas. ....	27
Tabla 6: Matriz de categorización Apriorística. ....	44
Tabla 7: Matriz de recolección de datos .....	45

## Índice de figuras

Figura 1: Estructura del gusano de cera. ....	4
Figura 2: Porcentaje de pérdida de peso del Waxcomb (Peine de cera) y Polietileno. ....	5
Figura 3: Países que elaboran plásticos a grandes cantidades.....	6
Figura 4: Uso promedio de plásticos en el Perú. ....	6
Figura 5: Metabolismo independiente del microbiota del gusano de cera. ....	10
Figura 6: Recopilación de base de datos. ....	14
Figura 7: Tamaño promedio de las etapas de desarrollo del gusano de cera <i>Galleria mellonella</i> . ....	18
Figura 8: Etapas del gusano de cera. ....	19
Figura 9: Comparación de la excreción de orugas de <i>G. mellonella</i> .....	20
Figura 10: Masticación de poliolefinas que alteran la composición microbiana en <i>Galleria mellonella</i> .....	22
Figura 11: Consumo promedio de plástico.....	28
Figura 12: Rutas metabólicas de poliestireno. ....	31
Figura 13: Modelo eventual de biodegradación de polietileno (PE). ....	33

## RESUMEN

La presente revisión sistemática tuvo como objetivo describir la eficacia del gusano de cera *Galleria mellonella* para la biodegradación de plásticos. La metodología que se empleó en la tesis es de tipo teórico no experimental-transversal; es decir, una revisión sistemática que fueron obtenidas desde revistas científicas y tesis. Se conoció las características del gusano de cera como su tamaño, degradación enzimática, alimentación y metabolismo microbiano, además de los tipos de plásticos que son biodegradados por esta especie como el polietileno (PE), polietileno de baja densidad (PEBD), poliestireno expandido (EPS), polipropileno (PP), residuos eléctricos y electrónicos de quipos de plástico; incluso, se consideró dos rutas de biodegradación que son de suma importancia. Se llegó a la conclusión que la biodegradación de materiales plásticos se produce por lo general por la acción metabólica del gusano de cera *Galleria mellonella*, ya que consumen el plástico y lo usan como fuente de energía en su proceso evolutivo.

**Palabras claves:** Biodegradación y *Galleria mellonella*, *Galleria mellonella* y plásticos , biodegradación de gusano de cera.

## ABSTRACT

The present systematic review aimed to describe the efficacy of the *Galleria mellonella* waxworm for the biodegradation of plastics. The methodology used in the thesis is of a theoretical, non-experimental-transversal type; that is, a systematic review that was obtained from scientific journals and theses. The characteristics of the wax worm such as its size, enzymatic degradation, feeding and microbial metabolism were known, in addition to the types of plastics that are biodegraded by this species such as polyethylene (PE), low-density polyethylene (PEBD), expanded polystyrene (EPS), polypropylene (PP), electrical and electronic waste from plastic equipment; even, two biodegradation routes that are of the utmost importance were considered. It was concluded that the biodegradation of plastic materials is generally produced by the metabolic action of the *Galleria mellonella* wax worm, since they consume the plastic and use it as an energy source in their evolutionary process.

**Keywords:** Biodegradation and *Galleria mellonella*, *Galleria mellonella* and plastics, wax worm biodegradation.



## I. INTRODUCCIÓN

Actualmente los plásticos que son producidos a nivel mundial, sólo el 21% se abordan de manera exitosa (Kaushal et al., 2021, p.1), por ende, donde más se contamina es en mares y en áreas terrestres (ecosistemas, reservas naturales, etc.) (Gómez et al., 2018, p.1).

Los desechos de tereftalato de polietileno (PET) se han convertido en una contaminación ambiental al transcurso del tiempo, debido a que los reciclajes carecen de sostenibilidad (Kaushal et al., 2021, p.2). Por otra parte, en el año 2016 los residuos eléctricos y electrónicos de equipos de plástico llegaron a alcanzar los 44.7 millones de toneladas a nivel mundial, y se pronosticó que en el 2025 alcanzará un aproximado de 53.9 toneladas de residuos (Alassali et al., 2020, p.2). Además, en la presente investigación, se hará mención de que el Gusano de Cera degrada diferentes tipos de plásticos, como es el caso de Polietileno (PE), Poliestireno Expandido (EPS), Polipropileno (PP), entre otros, en donde el tiempo de degradación de cada uno de ellos es diferente. Un ejemplo de lo mencionado anteriormente es el caso del polietileno de baja densidad, pues aquí las orugas de *Galleria mellonella* consumen este producto obteniendo como excremento etilenglicol.

Por otro lado, los científicos descubrieron un gusano de cera *Galleria mellonella* pertenecientes a la familia de lepidópteros, donde se da a conocer que su proceso de degradación es rápida, ya que al realizar varios experimentos, dejaron que los gusanos de cera se alimenten de Polietileno y a los 40 minutos se empezó a ver los primeros agujeros, lo cual a su vez conllevó a la pérdida de masa de dicho plástico; en ese sentido, se sostiene que la biodegradación de estos residuos plásticos como el polietileno es más rápida cuando se tratan con el gusano de cera, pues los resultados pueden ser observados en un tiempo corto, a comparación de otros tipos de plásticos, que incluso suelen demorar incluso hasta más de un mes (Bombelli et al., 2017, p.2).

Para realizar esta investigación se tomará en cuenta artículos relacionados a nuestro tema, sobre la biodegradación de plásticos por medio de *Galleria*

*mellonella*, respecto a tres tipos de plástico que son el Polietileno, Poliestireno expandido y Polipropileno (Peydaei et al., 2021, p.2). Además, hacen mención a Poliuretano (PU), Poliestireno y Acrilonitrilo Butadieno Estireno (ABS) según los autores Zhu et al., (2022, p.1) en los años del 2021 y 2022, incluyendo al artículo de revisión de Bombelli et al., (2017, p.2) donde resalta la biodegradación del Polietileno y Polipropileno que son uno de los principales tipos de plástico que se menciona en varios artículos sobre su proceso de biodegradación sobre esta larva y su producción en los últimos tiempos. Incluso, (Ren et al., 2019, p.2) hacen referencia sobre el *Enterobacter sp.D1*; es decir, bacterias que se encuentran en las tripas del gusano de cera con la capacidad de degradar polietileno y, de esta manera logren ser una fuente prometedora en la obtención de microorganismos que degradan este tipo de plástico. No obstante, en cuanto a las rutas de biodegradación, se tomará en cuenta los siguientes autores: como Lemoine et al., (2020, p. 7) que menciona sobre su proceso de biodegradación, incluyendo su capacidad de supervivencia del gusano de cera al consumir Polietileno. Por consiguiente, (Shuai et al., 2022, p.5) comenta sobre las rutas potenciales del poliestireno, su microbiota intestinal en su biodegradación y su metabolismo que participa reaccionando en cadenas más complicadas.

Es por ello, que tenemos la siguiente pregunta general ¿Cuál es la eficacia del gusano de cera *Galleria mellonella* para la biodegradación de plásticos? Así mismo, como problemas específicos tenemos **P.E.1:** ¿Cuáles son las características biológicas del Gusano de cera *Galleria mellonella* capaces de biodegradar materiales plásticos? **P.E.2:** ¿Cuáles son los tipos de plásticos que biodegradan el gusano de cera *Galleria mellonella*? **P.E.3:** ¿Cuáles son las rutas de biodegradación del gusano de cera *Galleria mellonella*?

Es por ello, que el presente trabajo ha consistido en la aplicación de una revisión sistemática, la cual se justifica de la siguiente manera: justificación teórica, que tiene la finalidad de informar acerca del gusano de cera *Galleria mellonella* y las principales características biológicas que éste presenta; así mismo, conocer sobre los diferentes tipos de plásticos biodegradables por el gusano cera *Galleria mellonella*; y finalmente, identificar las diversas rutas de biodegradación de materiales plásticos que presenta el gusano cera *Galleria mellonella*. Así

mismo, la justificación técnica, la cual se rige en seguir los aspectos de investigación cualitativa de tipo revisión sistemática; es decir, nos permite investigar y entender su proceso vigente, como es la biodegradación de desechos plásticos. Además, la justificación social, la cual servirá como fuente de información para futuras investigaciones que tengan que ver con el tema investigado. Por último, la justificación ambiental, en donde se espera que la aplicación del gusano de cera *Galleria mellonella* garantice una óptima biodegradación de materiales plásticos, y a su vez se considere como alternativa de solución de manera sostenible favorable al medio ambiente.

En sustento a lo anteriormente mencionado, proponemos en esta revisión sistemática como objetivo general describir la eficacia del gusano de cera *Galleria mellonella* para la biodegradación de plásticos, en base al objetivo general considero los siguientes objetivos específicos: Explicar las características biológicas del Gusano de cera *Galleria mellonella* capaces de biodegradar materiales plásticos, Identificar los tipos de plásticos que biodegradan el gusano de cera *Galleria mellonella* y Describir las rutas de biodegradación del gusano de cera *Galleria mellonella*.

## II. MARCO TEÓRICO

El gusano de cera *Galleria mellonella*, son insectos que comúnmente se conocen como polilla de cera, estos pertenecen a la familia de lepidópteros, las polillas adultas se le designa como polilla abeja, son de color blanco medio, con patas de punta negra y cabeza pequeñas, negras o marrones, estas larvas son consideradas como parásitos que se encuentran en los panales de las abejas; estas mismas comen el polen, cera de las abejas, capullos y pieles de las abejas al mudar (Khyade; et al, 2018, p.32). Por otro lado, se alimentan se la cera y miel, como también es muy económico para realizar un proceso de biodegradación de plástico; el cual se realiza de manera natural (Parthuisot et al., 2018, p.1).

Además, mencionan que la vida de esta larva consta de 4 fases: huevo, larva, pupa y adulto, y su periodo de vida es entre los 4 a 6 meses encontrándose a temperaturas de 29 °C a 39 °C, tiene una estructura de forma tubular, su proceso digestivo es grasoso comúnmente llamado grasa corporal, sus glándulas salivales lo usan para crear seda, y esto se emplea para los capullos (Singkum, 2019, p.3) (Roh et al., 2020, p.7).

Incluso, descubrieron que estas larvas degradan y comen el Polietileno, poliestireno, entre otros tipos de plásticos (Lou et al., 2020, p.1).

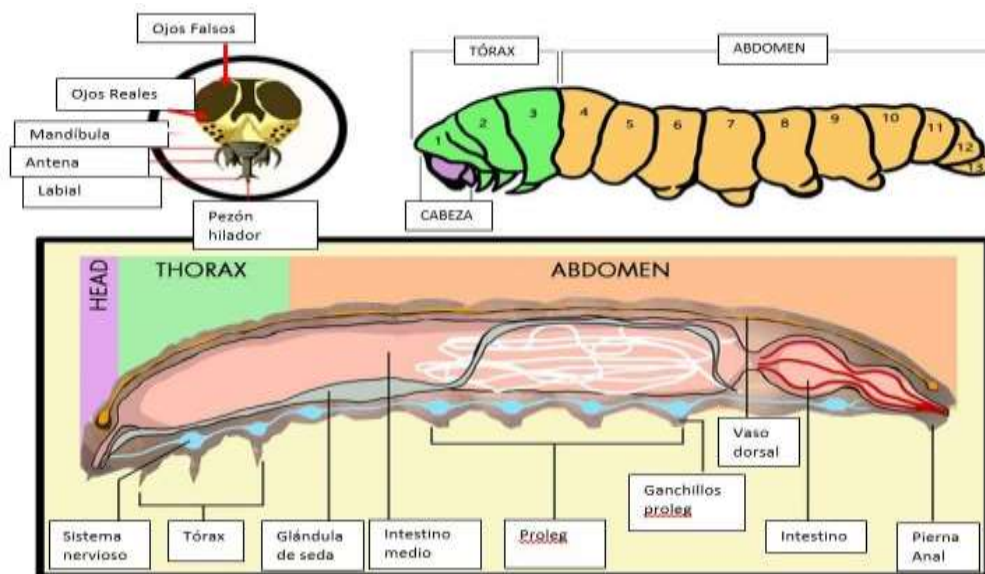


Figura 1: Estructura del gusano de cera.

Fuente: Singkum et al., (2019, p.3).

Según Kundungal et al. (2019, p.5) evaluaron la biodegradación de los desechos plásticos a través de gusanos de cera; así mismo, estudiaron los efectos de la nutrición en la degradación de polietileno y Waxcomb (Peine de cera) en donde se obtuvo una pérdida de peso de  $43.3\% \pm 1.6\%$  y  $90.5\% \pm 1.2\%$  durante un periodo de 8 días aproximadamente (Ver f.2).

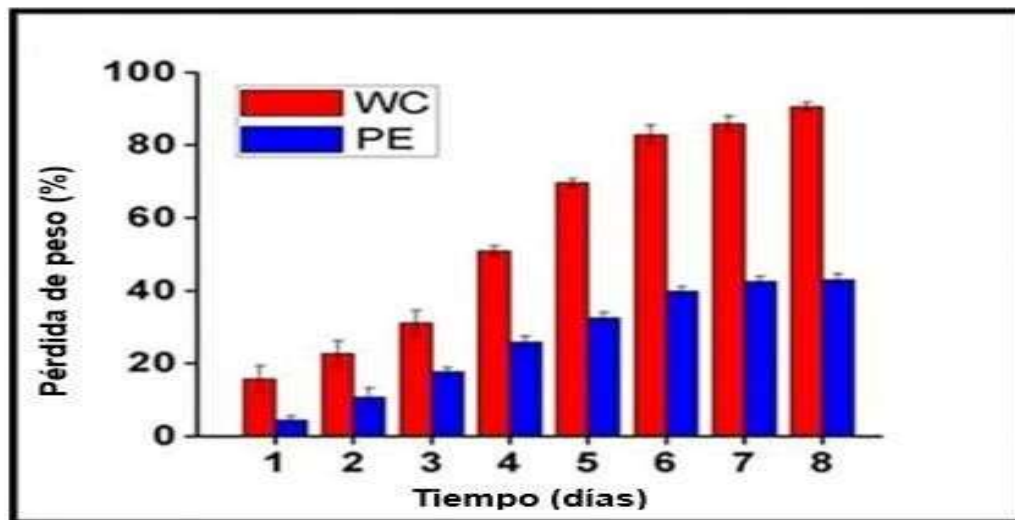


Figura 2: Porcentaje de pérdida de peso del Waxcomb (Peine de cera) y Polietileno.

Fuente: Kundungal, Harsha; et al. (2019, p.5)

Después Peydaei et al. (2021, p.3) afirman que las larvas de *Galleria mellonella* ingieren polietileno y el mecanismo en degradación podría inspirar la explotación biotecnológica para degradar el plástico; además, sus resultados consistieron que *Galleria mellonella* es capaz de masticar Polietileno, Poliestireno Expandido y Polipropileno convirtiéndose en pequeñas partículas. Mientras que LeMoine et al. (2020, p.2) revelaron sobre las larvas alimentadas con PE, encontrando la actividad de las enzimas que fueron involucrados por el proceso de oxidación química de PE, en donde la dieta natural de panal ha dotado que las larvas de *Galleria mellonella* cuentan con la capacidad de obtener energía del PE como fuente de alimento a través de vías metabólicas.

Para emplear la biodegradación de plásticos; existen investigaciones que demuestran que algunas bacterias o enzimas se encargan de la biodegradar el plástico, estas medidas son esenciales para el cuidado de nuestro planeta (Wang et al., 2022, p.2). Además, este proceso de biodegradación suele realizarse por

la acción enzimática de algunas partes de sus características del gusano (Pivato, 2022, p.3).

Como también se sabe que hay muchos microorganismos que contienen mecanismos en degradación de poliéster, en donde hay enzimas que se encuentran en estos organismos (Kaushal et al., 2021, p. 4).

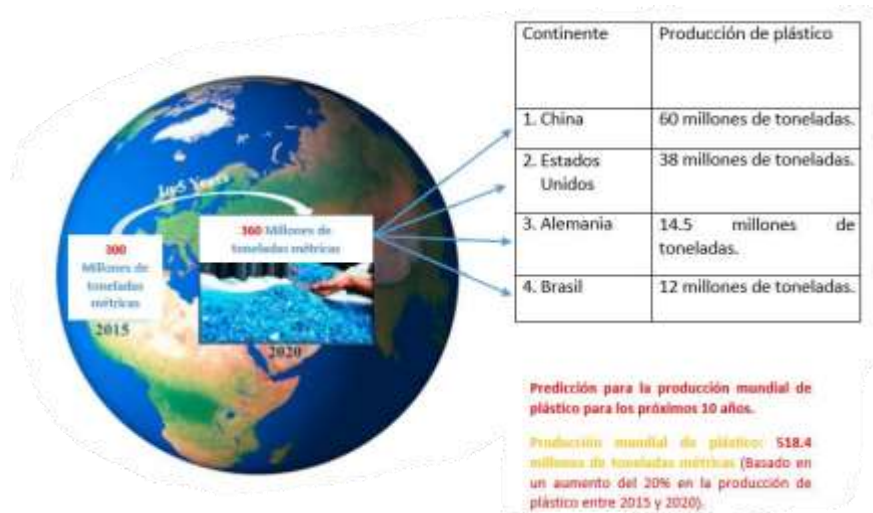


Figura 3: países que elaboran plásticos a grandes cantidades.

Fuente: Kaushal et al., 2021.



Figura 4: Uso promedio de plásticos en el Perú.

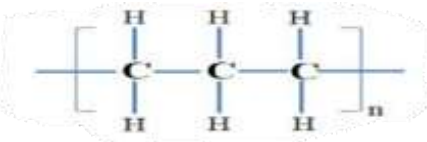
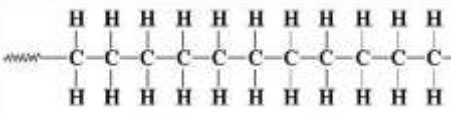
Fuente: MINAM (2020).

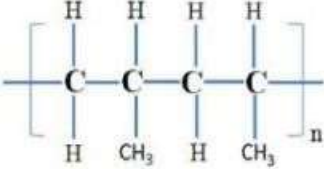
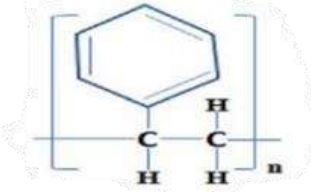
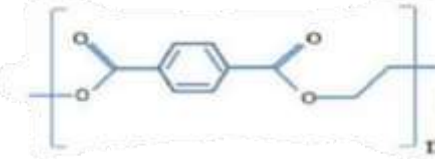
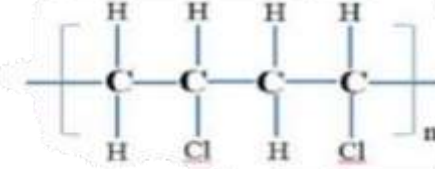
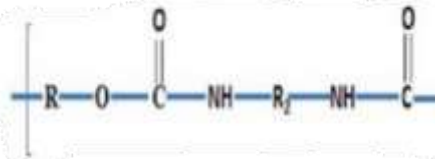
En países como Chile, Argentina, Colombia, Venezuela y Perú, la producción anual de plástico que se llega a producir es de 0,01 a 0,25 millones de toneladas métricas aproximadamente (Puicon, A, 2018, p.3).

Así mismo, MINAM (2020), estableció que en la actualidad de todos los residuos que se generan en el Perú, el plástico representa el 10%, y que su uso promedio es de 30 kg de plástico por ciudadano anualmente, atribuyendo una cantidad de 3 mil millones de bolsas plásticas, el equivalente a 6 mil bolsas por minuto; es más, sólo en Lima Metropolitana y Callao logran generar una cantidad de 886 toneladas de desecho plásticos durante un día, lo cual representa el 46% en todo el país (f.5).

Además, Alassalli et al. (2020, p. 1) sostiene que los resultados de los plásticos de los diferentes tipos de residuos eléctricos y electrónicos de equipos de plástico, contienen componentes muy peligrosos y son clasificados a través de categorías como impresoras, computadoras, electrodomésticos y herramientas, que sirven para mantenimiento en casas; incluso, en el año 2016 llegaron alcanzar de estos residuos un total de 47.7 millones de toneladas, causando graves daños a la salud.

Tabla 1: Estructuras químicas de diferentes plásticos.

Tipo de plástico	Estructura química
Polietileno	
Polietileno de baja densidad	

Polipropileno	
Poliestireno	
Tereftalato de Polietileno	
Cloruro de polivinilo	
Poliuretano	

Fuente: Kaushal, Jyoti; et al (2021, p. 2)

El Polietileno, es un polímero que su producción lo realizan cada año y es de lo más vendido, siendo altamente peligroso una vez arrojados al mar, puesto que las consecuencias que se generan en estos ecosistemas son muy lamentables; es más, su proceso incluye la baja y alta densidad en la elaboración de estos residuos, dando a conocer que las bolsas transparentes son empleadas para uso diario, mientras que lo demás se emplea en grandes construcciones (Jyoti, 2021, p.2) (Ghatge, 2020, p.2).



Poliestireno, es un plástico que abunda en su producción a nivel mundial, esto se utiliza como espuma de embalaje, envases para bebidas, alimentos, materiales en las construcciones, entre otras (Mohanani et al., 2020, p.1). Sin embargo, se debe fundamentalmente a la acción enzimática de *Galleria mellonella*, el que haya más investigaciones en donde se ponga énfasis la identificación de esas enzimas y sus procesos catalíticos latentes (Wang et al., 2022). Además, su alimentación de este polímero es de 21 días, y al realizar este proceso su periodo no daña su alimentación a un corto tiempo (Jiang et al., 2021, p.4).

Bombelli et al. (2017, p.1) estableció que la biodegradación de polietileno tenía que ver por la intervención de microorganismos dentro de los intestinos de larvas de polilla india *Plodia interpunctella* encontrándose bacterias como *Bacillus sp YP1* y *Enterobacter asburiae YT1*, teniendo como resultado una biodegradación más óptima; además, el ecologismo propio del gusano de cera permitió la degradación de enlaces químicos que no son susceptibles de biodegradación.

Lou et al. (2020, p.4) afirmaron que las larvas *Galleria mellonella* cuentan con la capacidad de ingerir espumas de polietileno y poliestireno, obteniendo una disminución en el peso de 1.95 g para aquellas larvas que fueron alimentadas necesariamente con PE y 0.88 g para las larvas alimentadas con PS luego de un periodo de 21 días.

Por otro lado, los metabolismos de los ácidos grasos al llegar a su consumo de Polietileno de Baja Densidad, llegan a tener una mayor información que suelen alterar funciones biológicas que derivan de las orugas en cada función enzimática derivados del BLASTn (Herramienta básica de búsqueda de alineación local), estas orugas alimentadas con PE mantienen las reservas de lípidos, y la forma molecular del intestino de las orugas alimentadas con LDPE sugiere una remodelación metabólica importante asociada con la homeostasis de los lípidos en estos lepidópteros (LeMoine et al., 2020, p.6).

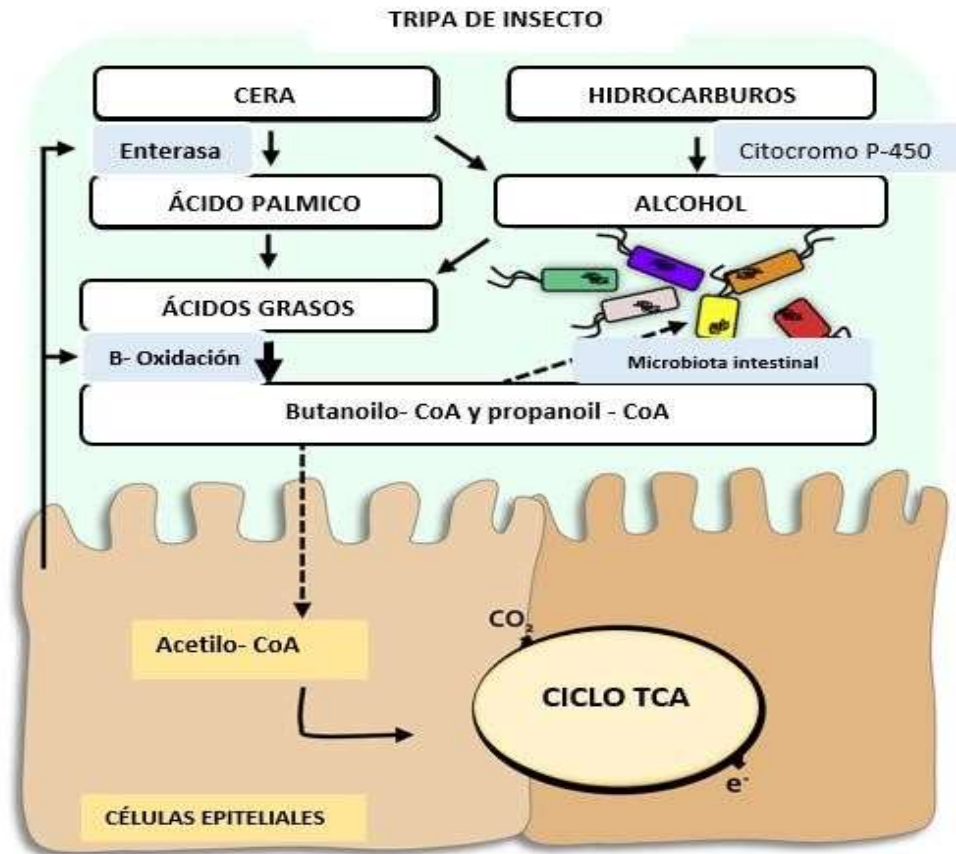


Figura 5: Metabolismo independiente del microbiota del gusano de cera.  
 Fuente: Chung et al. (2020).

Los mecanismos que se encuentran en el polietileno de baja densidad biodegradan al mismo tiempo que el pretratamiento en donde se compara con la foto-oxidación y tipo Norrish de la degradación tipo I y II, y la degradación parafina que llega ser una cadena corta de Polietileno hacia la naturaleza, de esta manera la reacción de la fotodegradación de este polímero Polietileno de baja densidad bajo la luz del sol llega al proceso de absorción de fotones por macromoléculas del polímero (Kundungal et al., 2019, p.20).

### **III. METODOLOGÍA**

#### **3.1. Tipo y diseño de la Investigación**

##### **Tipo de investigación**

El tipo de investigación del proyecto se realizó mediante un estudio teórico no experimental - transversal de tipo básica, su propósito fue realizar una revisión sistemática donde se hizo la recopilación correspondiente de fuentes confiables, las cuales se encuentran en fuentes como Scopus y WOS desde el año 2017 hasta 2022.

##### **Diseño de investigación**

El diseño de investigación para el desarrollo de esta investigación fue narrativa, los resultados de publicaciones se encontraron en fuentes confiables y se elaboraron en un documento Excel, de esta manera se recopiló información de diferentes autores (Pardal-Refoyo; et al., 2020, p.3).

#### **3.2. Categoría, subcategoría y matriz de categorización**

En el desarrollo de la siguiente investigación se identificó las categorías identificadas “Características biológicas”, “Tipos de plásticos” y “Rutas de biodegradación”, al igual que las sub categorías que corresponden a las categorías ya mencionadas; de esta manera, se realizaron mediante la búsqueda de información de fuentes primarias por lo que la investigación es una revisión sistemática.

Esto nos ayudó a tener un buen análisis y poder interpretar de manera eficiente los resultados presentados en nuestro estudio; sin embargo, sirvió como un mecanismo fundamental para reducir la información recopilada. (Ver Anexo N°1).

### 3.3. Escenario del estudio

El siguiente trabajo no presentó una metodología específica preparada, de esta manera se realizó una revisión sistemática; es decir, tuvo un enfoque narrativo debido a las diversas investigaciones encontradas. Por otro lado, las fuentes de datos fueron encontradas en plataformas confiables, limitando un periodo de 6 años, del año 2017 hasta 2022.

Además, se conformó como base de datos en nuestra investigación fuentes como Science Direct, Scopus, Web of Science, ProQuest y repositorios, en donde se realizó o se aplicó el criterio de inclusión y exclusión, y así dará mejores resultados para nuestro trabajo.

### 3.4. Participantes

Para el presente trabajo de investigación los recursos fundamentales que se tomaron en cuenta para su desarrollo fueron revistas científicas de alto nivel de las plataformas de Scopus, ScienceDirect y Web of Science. De esta manera nos sirvieron para poder realizar nuestra búsqueda de datos en un periodo de tiempo de máximo 6 años de antigüedad (2017 - 2022).

Tabla 2: Recopilación de base de datos

<b>AÑO DE PUBLICACIÓN</b>	2017- 2022
<b>IDIOMA</b>	Inglés y español.
<b>BASE DE DATOS</b>	<b>PALABRAS CLAVES</b>
Science Direct	“ <i>Galleria mellonella</i> ” AND “degradation” AND “plastics”. “ <i>Galleria mellonella</i> ” AND “biodegradation”, “Biodegradation” “ <i>Galleria mellonella</i> ”, “ <i>Galleria mellonella</i> ” AND “biodegradation”, “bioegradation OR “ <i>Galleria mellonella</i> ” AND “plastics”
SCOPUS	
Web of Science	
ProQuest	
Repositorios	
	“Biodegradación de gusano de cera”

Fuente: Elaboración propia.

### **3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

La recopilación de datos son fuentes de investigación; el cual se basa en la observación, suele realizarse encuestas, entrevistas, pero en una revisión sistemática, se basa en recopilar información en diferentes fuentes confiables (Torres et al., 2019, p.4).

Para el desarrollo de esta investigación se utilizó la técnica de análisis del documento, ya que se logró hacer una búsqueda exhaustiva de diferentes fuentes confiables como artículos y revistas científicas sobre el tema tratado. Por otro lado, el instrumento que se empleó fue la ficha de investigación (Excel), el cual nos permitió la identificación y recopilación de información con la finalidad de poder tener mejor organizado y sintetizado para posteriormente poder clasificarla según el título, autor, año, tipo de investigación, base de datos y revistas. Estos fueron recopilados en la matriz de categorización apriorística (Ver Anexo 1).

### **3.6. Procedimiento**

Para la recopilación de datos se utilizaron fuentes confiables concernientes a ScienceDirect, Scopus, Web of Science, ProQuest y repositorios; incluyendo, palabras claves y limitando desde los años 2017 a 2022, siendo de acceso libre, como se observa a continuación:

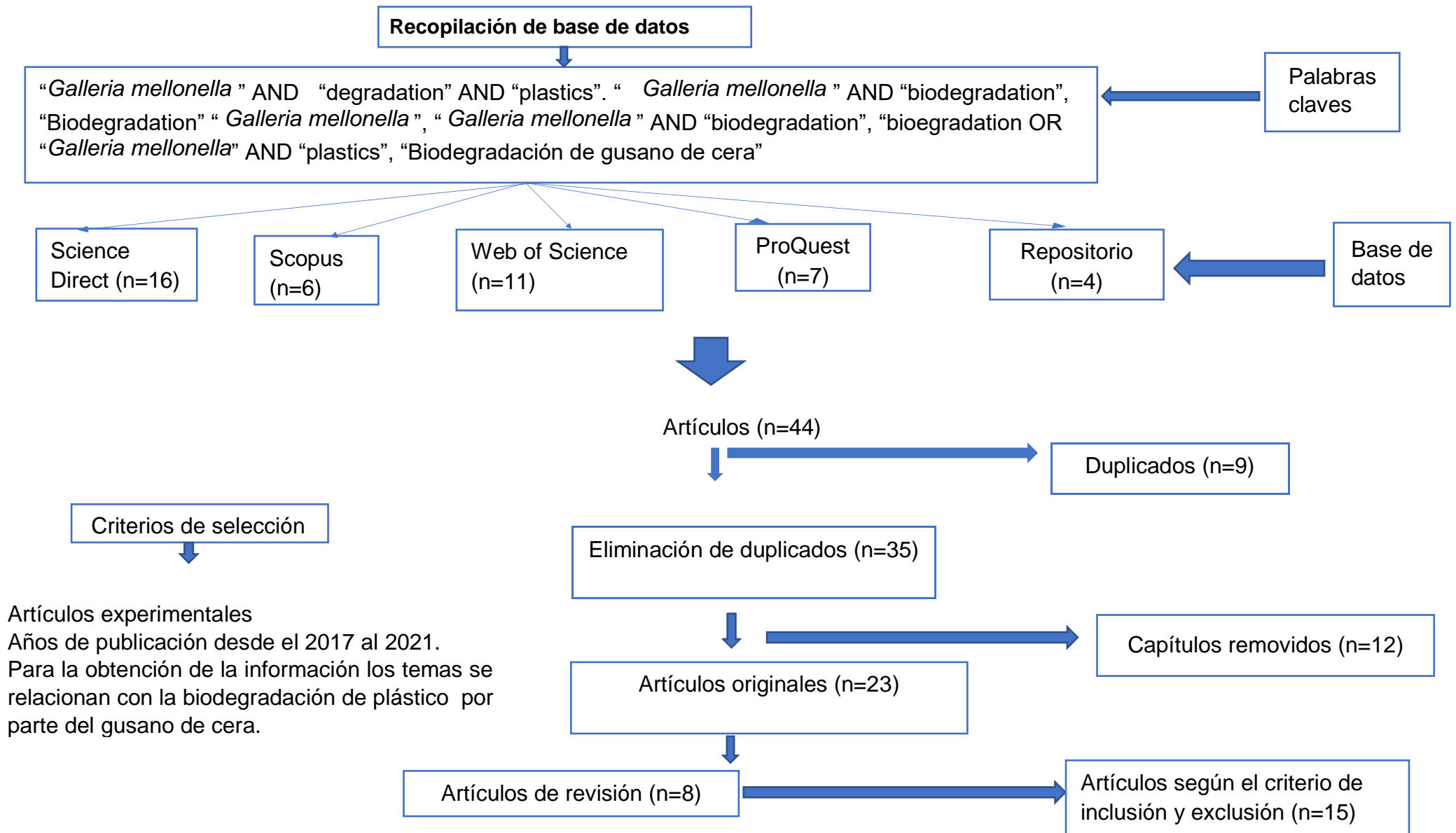


Figura 6: Recopilación de base de datos.

Elaboración propia.

### **3.7. Rigor científico**

En el siguiente proyecto de investigación se fundamentó en presentar un trabajo de tipo descriptivo mediante una revisión sistemática, sostenido en los métodos, hermenéutica y un profundo análisis del contenido, así mismo, está basado en atribuir aspectos característicos de precisión científica, aplicado para una investigación de carácter cualitativa, en la cual mediante una serie de investigaciones y conocimientos se logró definir bases teóricas, metodológicas y técnicas que nos favoreció en la proporción de respuestas y/o soluciones en los problemas planteados (Espinoza, 2020, p.2).

Por lo que se tuvo en cuenta aspectos esenciales que instituyen la calidad en la mejora del estudio, siendo estos:

La credibilidad o autenticidad, supone la evaluación de los diferentes escenarios donde una investigación pueda llegar a ser validado como fiable, para ello se buscó demostrar cuyos fenómenos en su ámbito de estudio; así mismo, tomar en cuenta que los resultados presentados contrastan con los diversos autores y/o fuentes informativas (Brackett y Batten, 2022, p.1).

Transferencia, antepone el traspaso de resultados y/o datos de la investigación que se realizó a diversas situaciones similares al estudio efectuado; es decir, siempre y cuando se tenga en cuenta la explicación precisa del entorno en donde se desempeñaron los resultados, para que de esta manera se pueda tener una comparación entre nuestro estudio realizado con la de otras investigaciones (Brackett y Batten, 2022, p.4).

Consistencia, guarda relación al grado de coherencia o consistencia de los resultados y hallazgos de la investigación. No obstante, se consideró un proceso en donde se recaudan datos detallando las condiciones en la que estos son concedidos, las fuentes y la validación de cada integrante, que en total vienen a ser factores esenciales en la obtención de una interpretación eficaz (Espinoza, 2020, p.3).

Confirmación, consta en facilitar la confiabilidad de los resultados obtenidos; es decir, se guardó relación con el proceso en el que los resultados no son rectificadas por motivación, interés y/o primacía propia del investigador (Snodgrass et al., 2018, p.2).

Es por ello, que el rigor científico que se empleó para este trabajo de investigación fue apropiado, puesto que desde un inicio estuvo sujeto al criterio de credibilidad y aprobación por medio de las fuentes bibliográficas utilizadas.

### **3.8. Método de análisis de datos**

Para poder obtener nuestro método de análisis de datos en este estudio, se contó con un diseño de investigación cualitativa, ya que en ella se utilizó la técnica de análisis del documento y su instrumento que se empleó fue el Software Microsoft Excel, el cual fue fundamental para poder sintetizar la información de cada uno de las revistas y/o artículos, que a su vez fueron escogidos mediante el criterio de exclusión desde los años 2017 hasta 2022 con la finalidad de garantizar la confiabilidad y veracidad de las fuentes en esta investigación.

### **3.9. Aspectos éticos**

En el marco de la presente investigación, se tomó en cuenta la ética y confiabilidad de la información recopilada de las diferentes fuentes bibliográficas; no variando su contenido real, indicando datos fiables para el óptimo desarrollo de este trabajo de investigación; así mismo, se analizó e interpretó de forma detallada cómo concierne en este caso, citando apropiadamente la información recaudada, respetando los derechos de autor mediante su adecuada mención.



#### IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en este estudio se obtuvieron recopilando y comparando diferentes investigaciones. Por lo tanto, el procedimiento que se utilizó para las investigaciones referentes al gusano de cera *Galleria mellonella* se presentó de acuerdo a los objetivos de estudio planteados.

##### 4.1. Características del gusano de cera

###### Tamaño

Tabla 3: Tamaño del gusano de cera *Galleria mellonella* en sus etapas de desarrollo.

Etapas de desarrollo del gusano de cera	Tamaño Promedio (mm)	Temperatura del ambiente gusano (°C)	Referencias
HUEVO	0.5 mm de diámetro	24° a 27°C	Jorjao et al (2018, p. 2)
LARVA	16 a 20 mm largo	25° a 37°C	Singkum et al (2019)
	20 a 27 mm de longitud		Velasco (2017)
	15 a 20 mm de largo		Jiang et al (2021)
	1 a 23 mm de longitud	Becerra; y Herrera (2020)	
PUPA	15 mm de largo	29°C a 35°C	Singkum et al (2019)
	25 mm de longitud	29° a 35°C	Becerra; y Herrera (2020)

POLILLA ADULTO	14 a 38 mm de longitud	29° a 35°C	Sinkum et al (2019)
	20 mm		Becerra; y Herrera (2020)

Fuente: Elaboración propia.



Figura 7: Tamaño promedio de las etapas de desarrollo del gusano de cera *Galleria mellonella*.

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 3, las etapas de desarrollo del gusano de cera *Galleria mellonella* indican que la una temperatura ambiente oscila entre los 29°C a 32°C aproximadamente y tiene cuatro etapas de vida (huevo, larva, pupa y polilla adulta), la polilla hembra a partir de 2 o 3 días después de ser fecundada deposita los huevos de aproximadamente 1 mm de diámetro a los 15 a 20 días después de puesta la eclosión los huevos, a los 21 – 25 días hilan un capullo y a los 10 – 15 días nacen los nuevos adultos (Jorjao et al.; 2018, p.2).

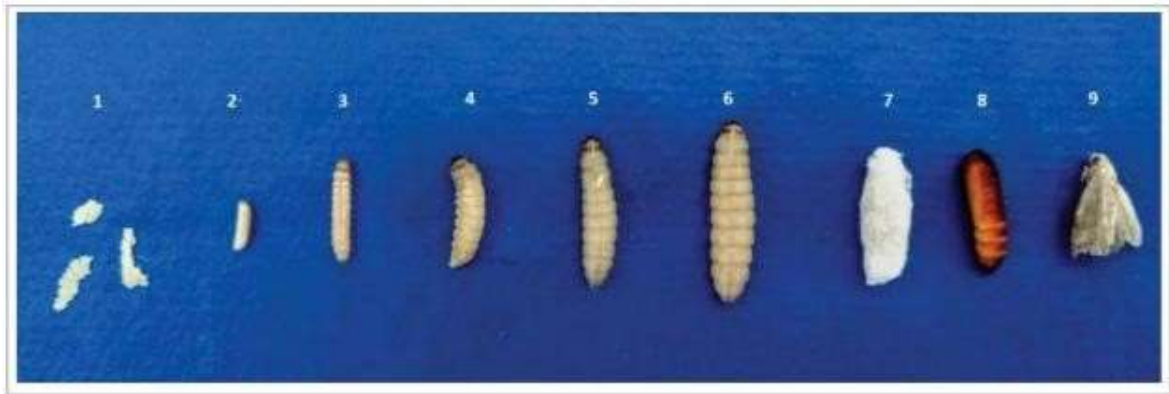


Figura 8: Etapas del gusano de cera.

Fuente: Jorjao et al.; (2018, p. 3)

En cuanto a los primeros resultados presentados anteriormente, diversos autores mantienen su postura en cuanto al tamaño del gusano de cera *Galleria mellonella* en la biodegradación de materiales plásticos. Velazco (2017), determinó que el tamaño idóneo de este lepidóptero depende mucho de la medida de las bolsas de plástico donde se pueda realizar una biodegradación más adecuada para que estos gusanos se puedan movilizar de una mejor manera, entre las medidas que más se asemejen para que el proceso de biodegradación es entre los 20 mm a 27 mm esto se debe a que el tamaño se puede desplazar mejor (p.38). Por otro lado, Ping Z.; et al. (2021), concluye que la longitud de estas larvas es de 25 a 30 mm de longitud con una masa entre 310 a 270 mg de larva en los lugares de China. Mientras que, en Tianjin, China, el tamaño de estas larvas se encuentran entre los 15 a 20 mm de largo (Jiang et al, 2021, p.2). Por último, Velasco (2017, p.3), determinó que, si se obtiene un tamaño ideal del gusano de cera, se puede lograr resultados muchos más satisfactorios, sobre todo puede llegar a biodegradar plásticos en un periodo determinado.

### Alimentación

El alimento natural del gusano de cera *Galleria mellonella* por lo general es la cera abejas, teniendo como nicho natural el panal, ya que en sus etapas de desarrollo desde que la polilla pone sus huevos hasta la pupa, se alimentan de cera de abejas (Jiménez, 2019, p.12).

Es por ello, que en base su alimentación mediante el consumo de plástico, se presentará una comparación de los excrementos de orugas de *G. mellonella* alimentadas con panal y aquellas alimentadas con Polietileno, presentadas a continuación en la Figura 9.



Figura 9: Comparación de la excreción de orugas de *G. mellonella*.

Fuente: Cassone et al., (2020, p. 4)

En la figura 9, para el autor Cassone et al., (2020) logró observar una variabilidad en los excrementos de orugas de *G. mellonella*. Esto se debe que aquellas orugas que fueron alimentadas con panal, se logró evidenciar una excreción de manera sólida, según lo mostrado en la figura 8A; mientras que las orugas que fueron alimentadas con polietileno mostraron una excreción de manera líquida 24 horas después de la alimentación, según lo mostrado en la figura 8B. En ese sentido, se sostuvo que la consistencia de los excrementos de *G. mellonella*, tuvo que ver mucho con el régimen de alimentación (pág.4).

Por otro lado, según Lemonie y Smith; et al. (2020), el gusano de cera *Galleria mellonella* se puede alimentar con plásticos para mejorar su consistencia metabólica y presentar un mejor funcionamiento intestinal; es decir, adoptan un metabolismo con la presencia de ácidos grasos; además, también se demuestra que en la acción enzimática es favorablemente superior en aquellas larvas que se alimentan con Polietileno; es más, estas orugas inducen rutas para que su metabolismo sea mejor al momento de consumir este plástico; en consecuencia,

al comer Polietileno estas larvas *Galleria mellonella*, estas lo usan como fuente de energía por medio de sus rutas metabólicas (pág.5). Incluso, suelen alimentarse de cera, polen, miel que se encuentran en los panales de las abejas (Jiménez, 2019, p.14).

Además, Velasco (2017), sostuvo que la mordedura de *G. mellonella* es más consistente a la hora de consumir plástico, esto a su vez brinda una degradación más eficiente y en gran cantidad en relación a otros lepidópteros con un tamaño inferior, y que además no cuentan con las características como mandíbulas más grandes y un recorrido más corto; en consecuencia, lo que quiere demostrar es que obteniendo un tamaño ideal del gusano de cera, se puede lograr resultados muchos más satisfactorios, sobre todo puede llegar a biodegradar plásticos en un periodo de tiempo mucho más corto de hasta 12 horas aproximadamente (Velasco, 2017, p.23)

Por otra parte, Kundungal et al. (2019) en su evaluación sobre la biodegradación de residuos plásticos mediante el gusano de cera, obtuvo una pérdida significativa de  $43.3\% \pm 1.6\%$  y  $90.5\% \pm 1.2\%$  al degradar polietileno y Waxcom (Peine de cera) respectivamente, esto en un lapso de 8 días (ver f.2) (Pág.5). Mientras que para Peydaei et al. (2021), precisó que larvas de *G. mellonella* cuentan con la capacidad de masticar e ingerir Polietileno, Poliestireno Expandido y Polipropileno convirtiendo a estos plásticos en partículas más diminutas, y que el mecanismo en degradación podría inspirar el aprovechamiento de la biotecnología para degradar plásticos (Pág.3).

### **Metabolismo Microbiano**

El gusano de cera *G. mellonella* cuenta con un metabolismo microbiano más eficiente entre los demás insectos con la capacidad de degradar materiales plásticos, ya que sus larvas pueden llegar a degradar PE en un lapso de 40 minutos a su exposición (Bombelli et al; 2017, p.1). Así mismo, contribuye al calentamiento global, agua y biomasa (Morales et al; 2019 p.14).

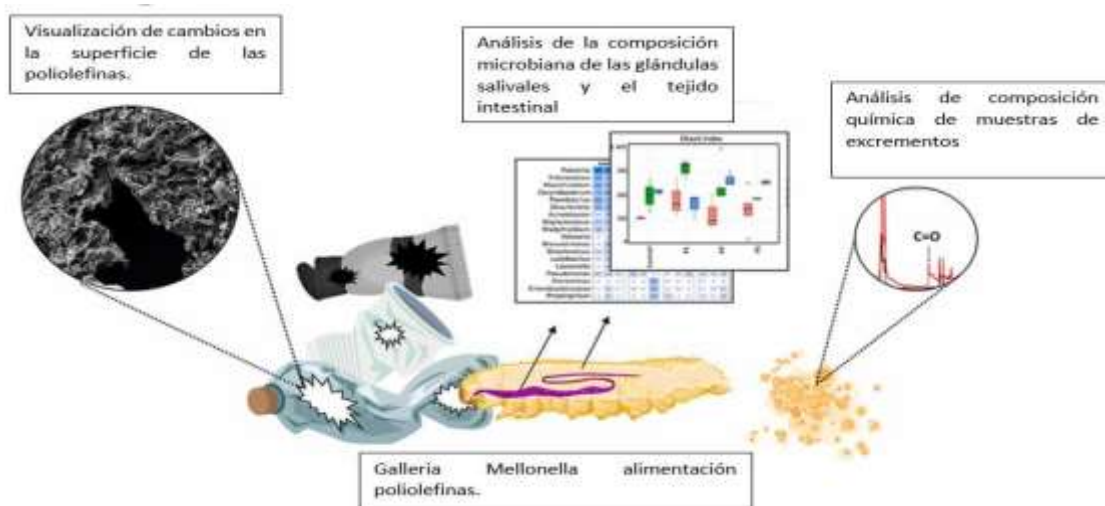


Figura 10: Masticación de poliolefinas que alteran la composición microbiana en *Galleria mellonella*.

Fuente: Peydaei et al., 2021.

En la Figura 10, para el autor Peydaei et al (2021), en cuanto a la alteración de la composición del microbioma intestinal de *Galleria mellonella* mediante la masticación de poliolefinas, determinó que el gusano de cera llega a masticar e ingerir Polietileno, Poliestireno y Polipropileno; incluso, una de sus características llegaron a la conclusión que al masticar podría cambiar su metabolismo intestinal sin afectar sus glándulas salivales; es más, en su metabolismo las bacterias *Desulfovibrio Vulgaris* y *Enterobacter* estaban enriquecidas en relación con los gusanos que consumieron polietileno mientras que las larvas alimentadas con polipropileno y poliestireno contenían cantidades más altas de *Enterococcus*. (f.10) (p. 2-8).

Por otro lado, Singh, et al, (2021), los gusanos de cera *Galleria mellonella* ingieren y degradan plásticos (PE), es que estos mismos se encargan de metabolizar las películas de plásticos de Polietileno convirtiéndolo en etilenglicol, un compuesto fácil de degradar (Pág.14).

A su vez, Espejo (2019), indicó que el metabolismo microbiano llega a generar dióxido de carbono, agua y recurso energético (biomasa), este proceso llega ser inducido por la actividad de un cambio de material de los metabolismos naturales, alterando la estructura química llegando a producir pérdidas de ciertos polímeros, y los microorganismos que se encargan de mineralizar por completo

el polímero con su producción final de dióxido de carbono (aeróbica) y metano (anaeróbicas) (p.26).

Así mismo, Cassone et al (2020, p.4), dio a conocer sobre el rol del microbioma intestinal del gusano de cera en la biodegradación de Polietileno de baja densidad, donde apreció una variación evidente en la consistencia de los excrementos de *Galleria mellonella* (heces de oruga) dentro de un periodo de 24 horas después de haber sido alimentadas con Polietileno, en consecuencia, este fenotipo tuvo una consistencia única en aquellas orugas que consumieron plástico de manera activa.

#### **4.2. Tipos de plásticos que biodegradan los gusanos de cera.**

Tabla 4: Peso y tiempo de biodegradación de algunos tipos de plásticos.

TIPO DE PLÁSTICO	CONSUMO DE PLÁSTICO	UNIDAD	TIEMPO DE BIODEGRADACIÓN	NOTAS	REFERENCIA
Polietileno	103.88	mg	168 horas	40 larvas consumieron este plástico.	(Jimenez, 2019)
	1460 ± 20		8 días	El consumo de plástico es de 100 larvas.	(Kundungal; et al., 2019, p.6)
Poliestireno	1950		21 días.	El consumo de plástico es de 150 larvas.	(Lou, et al.; 2020)
	880		21 días	150 larvas que consumieron plástico.	(Shuai, et al.; 2022, p.2)



Polietileno de baja densidad	0.0210	mg	12 horas	Larvas que consumen 10 larvas.	(Velasco, 2017, p.40)
Poliestireno expandido	1546		72 horas	10 g de masa de gusano de cera	(Siesquen, 2019)
	220		24 horas	Tratamiento de 30 g. de masa de gusano de cera.	
	231		8 días	Promedio estimado de consumo de plástico de 50 larvas.	
Polipropileno	386.1		8 días	Consumo plástico con 50 larvas.	(Peydaei; et al.,

	159.3				2021)
Residuos de poliuretano rígido.	2.51	mg	7 días	Consumo de plástico con 40 larvas.	(Ping, et al., 2021, p.3)
Residuos de poliestireno.	0.96				
Residuos de Acrilonitrilo butadieno estireno	0.35				

Simbología: + (mayor valor), - (menor valor).

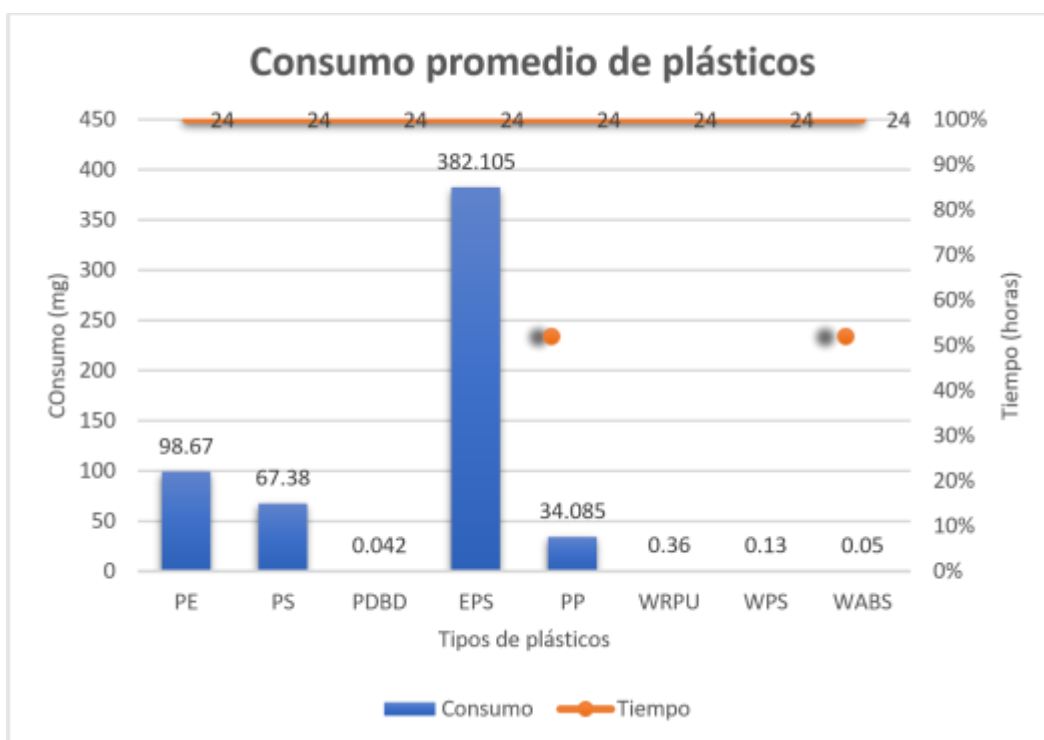
Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 4, se obtuvieron resultados de los diferentes autores durante el periodo del 2017 al 2022, el Polietileno, Poliestireno, Polietileno de Baja Densidad, Poliestireno Expandido, Polipropileno, y residuos eléctricos y Electrónicos de equipos de plástico, siendo estos los tipos de plásticos biodegradables por el gusano de cera.

Cada uno de estos experimentos se encontró con diferentes cantidades de estos gusanos que consumían estos plásticos, en diferentes tiempos y su consumo de biodegradación de cada plástico. El tiempo que llega a sobrevivir el gusano es consumiendo polietileno pero la supervivencia es mínima (Kundungal, et al.; 2019, p.5).

Tabla 5: Cantidad de plástico biodegradado por el gusano de cera *Galleria mellonella* en 24 horas.

<b>TIPO DE PLÁSTICO</b>	<b>CONSUMO DE PLÁSTICO</b>	<b>UNIDAD</b>	
Polietileno	14.84	mg	
	182.5		
Poliestireno	92.86		
	41.90		
Polietileno de baja densidad	0.042		
Poliestireno expandido	515.33		
	220		
	28.88		
Polipropileno	48.26		
	19.91		
Residuos de poliuretano rígido	0.36		
Residuos de poliestireno	0.13		
Residuos de Acrilonitrilo Butadieno Estireno	0.05		
<b>TOTAL</b>	<b>1165.062</b>		<b>mg</b>



Abreviaturas: PE (Polietileno), PS (Poliestireno), PDBD (Polietileno de Baja Densidad), EPS (Poliestireno Expandido), PP (Polipropileno), WRPU (Residuos de Poliuretano Rígido), WPS (Residuos de Poliestireno) y WABS (Residuos de Acrilonitrilo Butadieno Estireno).

Figura 11: Consumo promedio de plástico.

Fuente: Elaboración propia.

En los resultados mostrados en la tabla 5, se calculó la cantidad de plástico biodegradado por el gusano de cera *Galleria mellonella* en un periodo de 24 horas de acuerdo a los datos establecidos en la tabla 4; además, para obtener el consumo de cada tipo de plástico se empleó una regla de tres simple, lo cual ayudó a determinar el valor del consumo, obteniendo un total 1165.062 mg de materiales plásticos biodegradados. Así mismo, los resultados presentados de la figura 11 sobre el consumo promedio de plástico biodegradado demostraron que el Poliestireno Expandido tuvo un grado de eficiencia significativa con un valor de 382.105 mg, siendo este el plástico más biodegradado por el gusano de cera *Galleria mellonella*.

Por otro lado, cabe mencionar en la investigación de (Velasco, 2017, p. 39-40) llegó a utilizar 20 bolsas de Polietileno de Baja Densidad, empleando 10 gusanos para la biodegradación en un periodo de 12 horas, estas muestras lo realizaron a una temperatura de 25°C con una pérdida de masa de 3.57% y su valor mínimo de 0.31%, dando como conocimiento que esta temperatura son más eficientes en la biodegradación de este plástico, mientras en la temperatura de 35°C, obtuvieron un valor de 5.64%; de esta manera definieron que estos gusanos no son tan eficientes a esta temperatura.

El polietileno de baja densidad llegó a biodegradar en un periodo de 40 minutos con una pérdida de consumo de  $2.2 \pm 1.2$  orificios/larva/hora, siendo la máxima eficiencia de 17.49%, esto se debe a que el material llegó a ser una bolsa más delgada y la biodegradación sea más rápida dentro de un periodo de tiempo más corto (Bombelli et al.; 2017, p.2).

Para el Polietileno, el tiempo más corto de biodegradación fue 12 horas, donde se llegaron a ver los primeros agujeros, siendo un consumo de 2730 mg empleando 100 larvas, para el poliestireno fue de 21 días y el consumo de 0.88 a 1.95 g donde emplearon 150 larvas, en el polietileno de baja densidad llegaron a obtener los primeros resultados a partir de 12 horas y siendo el consumo de biodegradación de 0.0210 mg en donde emplearon sólo 10 larvas, para el poliestireno expandido sus primeros resultados se apreciaron durante 24 horas y su consumo de 0.220 g siendo un total de 50 larvas que emplearon para su proceso, para el polipropileno su tiempo fue de 8 días y su biodegradación de 386.1 mg en donde emplearon 50 larvas, finalmente, para los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos de equipos de plástico el tiempo fue de 7 días y su biodegradación de 2.51 mg, siendo la cantidad de 40 larvas que emplearon para su experimento.

Como es el caso de Velasco (2017, p.25), donde mencionó sobre la biodegradación en un periodo de 12 horas siendo la cantidad de 0.0210 mg, cabe rescatar que en su investigación encontró a estas especies a una temperatura de 25°C. Mientras que (Ricce y Beraun, 2022, p. 9) su resultado fue más elevado

en biodegradación siendo de 283.5 mg, alargando el tiempo y la cantidad de larvas.

#### **4.3. Descripción de la ruta metabólica del gusano de cera para la biodegradación del polietileno y poliestireno.**

Debido a nuestros resultados en el objetivo 3, se ha creído conveniente presentar dos rutas metabólicas que son más completas y sus experimentos se encuentran más actualizados, su proceso de biodegradación se basa a través de sus intestinos. Esto se debe a las reacciones de las cadenas (vías metabólicas) de cada proceso, donde se llega a encontrar que existen diferentes enzimas y sería eficiente emplear estos hidrocarburos como fuente de energía para el proceso de biodegradación.

A continuación, se observa en la figura 12 las rutas (vías metabólicas) de la biodegradación por Poliestireno y en la figura 13 ruta metabólica por biodegradación de Polietileno respectivamente.

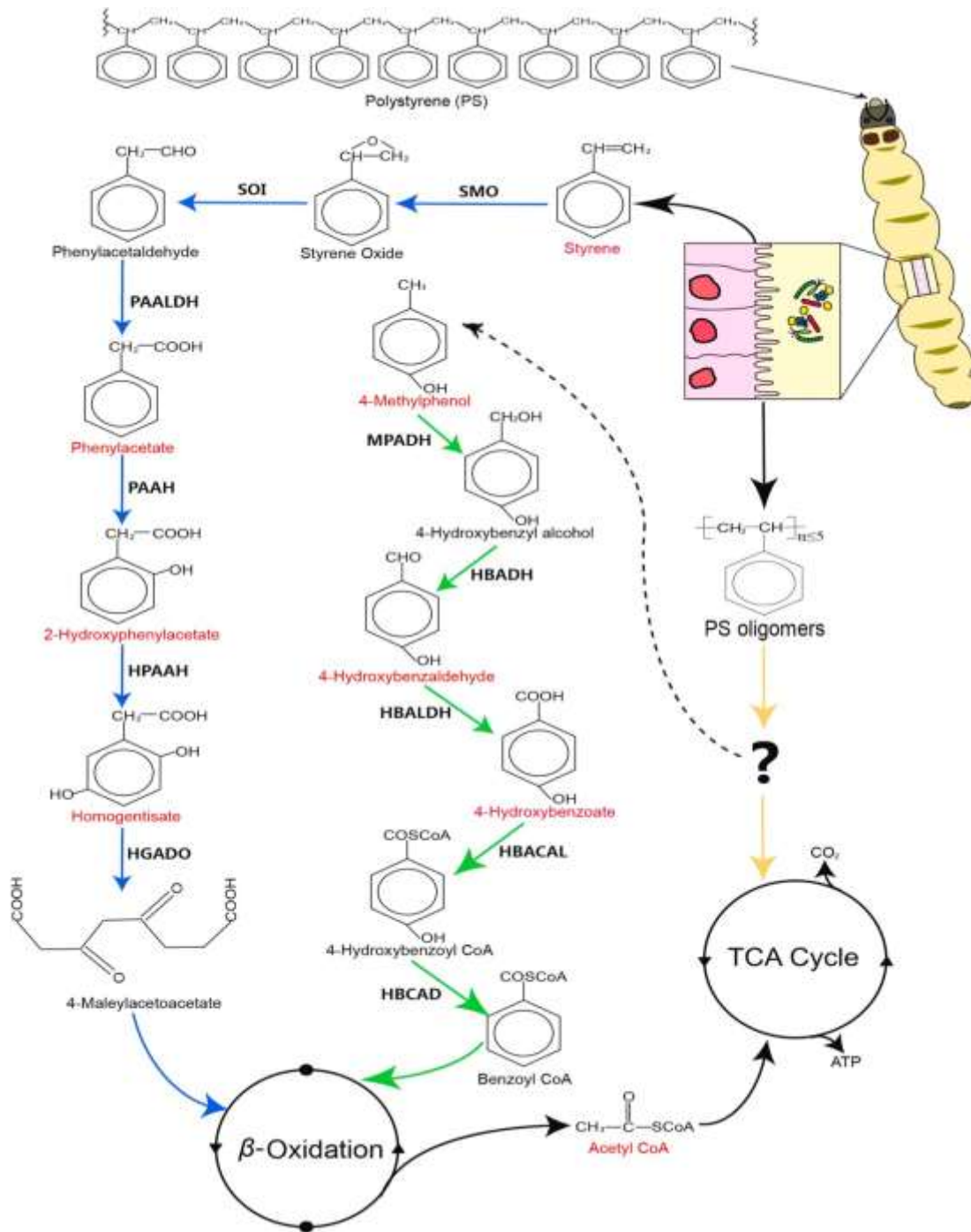


Figura 12: Rutas metabólicas de poliestireno.

Fuente: Shuai; et al, (2022, p.12).

En la figura 12, la ruta biodegradación empieza cuando el gusano de cera consume Poliestireno, en su intestinos se llega a apreciar el metabolismo de color rojo siendo la enzima estireno monooxigenasa, luego a la enzima Óxido estireno Isomerasa, siguiendo con la cadena hacia la enzima Fenacetaldéido deshidrogenasa, hacia la enzima Fenilacetato Hidroxilasa a la enzima 2hidroxifenilacetato Hidroxilasa, luego a la enzima homogentisato 1,2-dioxigenasa a la enzima 4-metilfenol metilhidroxilasa, siguiendo al alcohol 4hidroxibencílico deshidrogenasa, pasando por el 4-hidroxibenzaldehído deshidrogenasa, luego por el ácido 4-hidroxibenzoico CoA ligasa y finalmente el 4-hidroxibenzoil CoA reductasa.

Por consiguiente, es su proceso que se llevó a cabo en su intestino al consumir Poliestireno, se observa las flechas de color verde en donde se llega a cabo el 4-Metilfenol (MPADH), luego baja al 4-hidroxyibenzylalcohol (HBACDH), luego por el 4-hidroxibenzaldehido (HBALDH), seguido del 4-hidroxibenzoato (HBACAL) y 4-hidrobenzoil CoA (HBCAD) y termina en Benzoil, y la B-Oxidación termina con el Acetil CoA (el ciclo TCA) que consiste el ciclo del ácido tricarboxílico, el cual se encarga que las reacciones químicas se catalicen por enzimas en donde suele realizar una respiración aeróbica de las células conocidas como ciclo de Krebs y ciclo del ácido cítrico, esto termina con el proceso de liberar Trifosfato de Adenosina (ATP) y dióxido de carbono (Suai; et al., 2022, p.12)



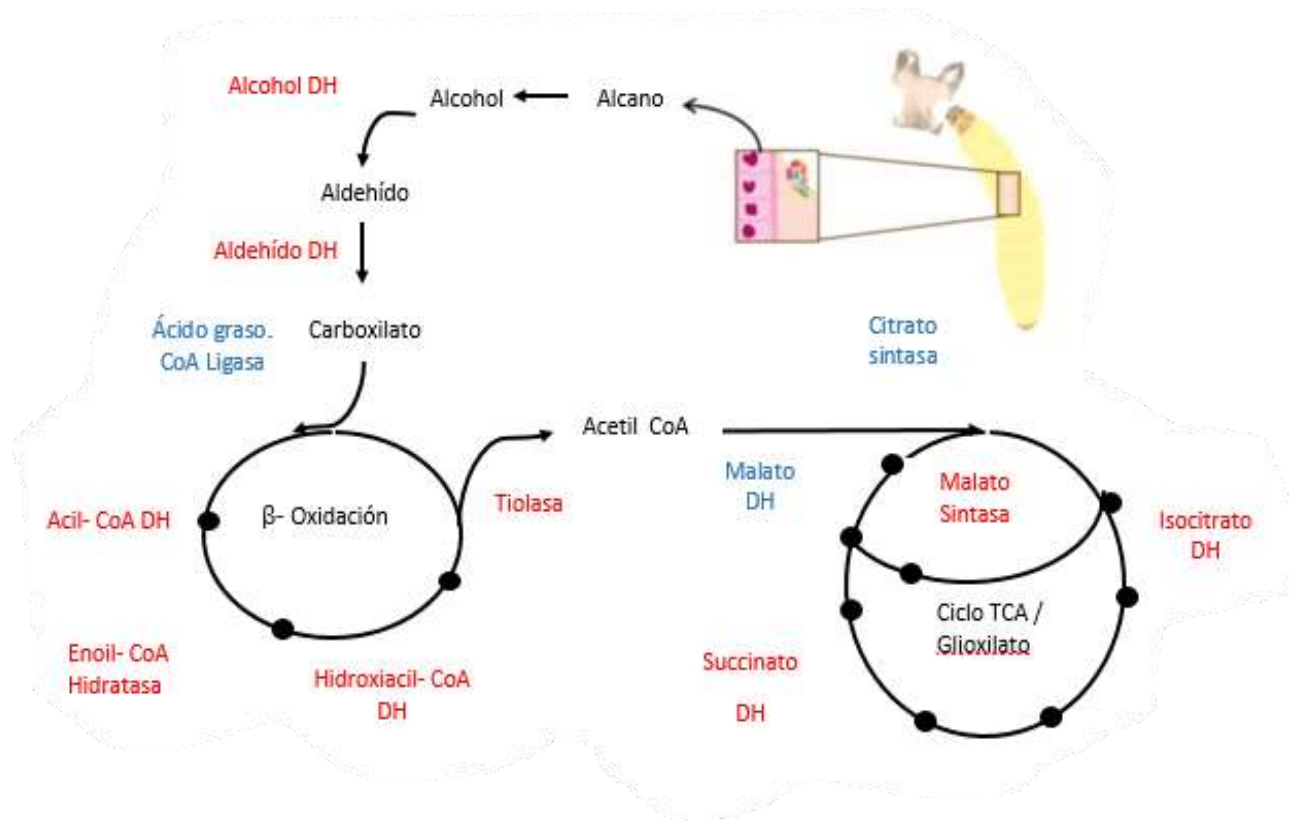


Figura 13: Modelo eventual de biodegradación de polietileno (PE).

Fuente: Lemoine; et al (2020,

p.7).

En la figura 13, esta ruta metabólica empieza mientras el gusano por larvas de *Galleria mellonella* consume plástico y es ahí donde empieza un proceso enzimático de transcripciones intestinales, se llega encontrar alcano, en donde esto provoca alcohol que es un aldehído y carboxilato que es un ácido graso orgánico y un ion metálico, que pasa por un proceso de oxidación de ácidos grasos en donde se encuentra el ácido-CoA dh, Enoil-CoA hidratasa, hidroxiacilCoA DH y Tiolasa; esto provoca que aparezca el Acetil CoA, que finalmente aparece el Malato DHa, que dentro del ciclo Glioxilato (TCA) cuya función permite que las células puedan ser utilizadas de carbono como el Isocitrato DH y Succinato SH para la producción de energía y biosíntesis.

En la figura 12 y 13, se llegó a encontrar en dos artículos científicos para las dos rutas metabólicas de los años 2020 y 2022 por Shuai; et al, y Lemoine et al. respectivamente.

En la microbiota intestinal son fundamentales para la biodegradación de poliestireno, debido que estuvo sometido a través de las larvas *Galleria mellonella* mediante microperlas y partículas de este plástico para mejorar de manera frecuente sus dimensiones, las cuales fueron de 0.5 mg/larva, en consecuencia de estos hallazgos indicaron que las microperlas de poliestireno llegaron a despolimerizar y dirigir por completo a pesar que el microbioma interno se podría regular en su metabolismo, llegando a demostrar que existen dos rutas metabólicas de poliestireno en el interior de las larvas *Galleria mellonella*, siendo el óxido de estirenofenilacetaldehído y el 4- metilfenol-4-hidroxibenzaldehido-4hidroxibenzaato, demostrando que la eficiencia de la biodegradación del poliestireno se debió a la acción enzimática de *Galleria mellonella*; sin embargo se espera que exista más investigaciones en un futuro para que se realice énfasis a la identificación de estas enzimas y procesos catalíticos latentes (Shuai; et al., 2022).

Mientras que en la ruta de biodegradación de ciertos materiales plásticos, se dio a través de un proceso latente que llega a intervenir la microbiota intestinal a varias rutas metabólicas como reacciones por cadenas o por sus vías de óxido de estireno-fenilacetaldehído, en el abdomen del gusano encontraron Alcanos largos, esto se asemeja a la estructura del polietileno que son muy resistentes a la degradación, identificaron varias enzimas microbianas como lacasas, lignina peroxidasas, lignina peroxidasas y manganeso peroxidasas, estas enzimas aún no fueron identificada en animales, pero descubrieron la *bacteria Serratia* asociada al polietileno; es más, en su investigación demostraron que *Galleria mellonella* consume con gran facilidad y metaboliza este plástico para la producción de energía de su crecimiento y desarrollo (Lemoine et al.; 2020, p.7).

## V. CONCLUSIONES

1. Se concluye, que el tamaño promedio para que se realice la biodegradación del gusano de cera es entre los 20 mm a 30 mm, ya que su movimiento y su proceso de consumo de plástico es más rápida y sus mordeduras son más fuertes; además, se pueden alimentar con plásticos para mejorar su consistencia metabólica y presentar un mejor funcionamiento intestinal; sobre todo, cuentan con un metabolismo microbiano que puede llegar a generar dióxido de carbono, agua y recurso energético (biomasa).
2. En esta investigación, se realizó una recopilación de diferentes autores y se concluyó que el Polietileno, Poliestireno, Polietileno de Baja Densidad, Poliestireno Expandido, Polipropileno, y Residuos Eléctricos y Electrónicos de equipos de plástico son los tipos plásticos que biodegrada el gusano de cera *Galleria mellonella*; así mismo, se obtuvo un consumo promedio en la biodegradación de plástico en donde se demostró que Poliestireno Expandido tuvo un grado de eficiencia significativa con un valor de 382.105 mg de plástico biodegradado en un lapso de 24 horas.
3. De acuerdo a la revisiones de diferentes fuentes llegamos a la conclusión que son dos las rutas metabólicas más eficientes, debido a su proceso de biodegradación se lleva a cabo en dentro de sus intestinos, entre ellos se encuentra las enzimas como el óxido de estirenofenilacetaldehído y el 4- metilfenol-4-hidroxibenzaldehido-4-hidroxibenzoato y enzimas que se encargan de su descomposición de las cadenas de Alcanos en Aldehídos y Carboxilatos encontrados en el interior los intestinos del gusano de cera *Galleria mellonella*.

## VI. RECOMENDACIONES

1. Incentivar a futuras generaciones a realizar más investigaciones con respecto al tema presentado, con la finalidad de proponer una o más alternativas de biodegradación frente a los diferentes materiales plásticos mediante la aplicación del gusano cera *Galleria mellonella*.
2. Extender la investigación presentada en esta tesis de manera que se pueda emplear a gran escala la aplicación del gusano de cera *Galleria mellonella* con el objetivo de obtener mayores resultados frente a la realidad problemática empleada.

## REFERENCIAS

ALASSALI, Ayah, et al. Towards a high quality recycling of plastics from waste electrical and electronic equipment through separation of contaminated fractions. *Journal of hazardous materials*, 2020, vol. 387, p. 121741. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.121741>

BECERRA GARCÍA, Marixa; HERRERA CHILÓN, Fredy Ronaldo. El gusano de la cera (*Galleria mellonella*) y su preferencia alimenticia por el color del plástico polietileno de baja densidad, Cajamarca 2020. 2021. Disponible en: <http://repositorio.upagu.edu.pe/handle/UPAGU/1566>

BOMBELLI, Paolo; HOWE, Christopher J.; BERTOCCHINI, Federica. Polyethylene bio-degradation by caterpillars of the wax moth *Galleria mellonella*. *Current biology*, 2017, vol. 27, no 8, p. R292-R293. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2017.02.060>

BRACKETT, Alexandria y BATTEN, Janene, et al. Ensuring rigor in systematic reviews: Part7, critical appraisal of systematic review quality, *Heart & Lung*, Volume 53, 2022, Pages 32-35. ISSN 0147-9563. <https://doi.org/10.1016/j.hrtlng.2022.01.008>

CASSONE, Bryan; GROVE, Harald et al. Role of the intestinal microbiome in lowdensity polyethylene degradation by caterpillar larvae of the greater wax moth, *Galleria mellonella*. *Proceedings of the Royal Society B*, 2020, vol. 287, no 1922, p. 20200112. <https://doi.org/10.1098/rspb.2020.0112>

ESPEJO MORALES, Carmen Patricia. Eficiencia de la biodegradación de residuos polietileno y poliestireno expandido por acción de la oruga *Galleria mellonella*, Lima-2019. 2019. Disponible en: [https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/51015/Espejo\\_MC\\_P-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/51015/Espejo_MC_P-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

ESPINOZA FREIRE, Eudaldo Enrique. La investigación cualitativa, una herramienta ética en el ámbito pedagógico. *Conrado* [en línea]. 2020, vol.16, n.75 [citado 2022-06-29], pp.103-110. Disponible en:<[http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1990-86442020000400103&lng=es&nrm=iso](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1990-86442020000400103&lng=es&nrm=iso)>. Epub 02-Ago-2020. ISSN 2519-7320

GÓMEZ, Patricia; CORNELL, Sarah E.; FABRES, Joan. Marine plastic pollution as a planetary boundary threat–The drifting piece in the sustainability puzzle. *Marine policy*, 2018, vol. 96, p. 213-220. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2017.11.035>

HOU, L. y MAJUMDER, E. Potential for and Distribution of Enzymatic Biodegradation of Polystyrene by Environmental Microorganisms. 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/ma14030503>

JIANG, Shan, et al. Isolation, Identification, and Characterization of Polystyrene-Degrading Bacteria From the Gut of *Galleria mellonella* (Lepidoptera: Pyralidae). *Fronteras en Bioingeniería y Biotecnología*, 2021, p. 746. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2021.736062>

JIANG, Shan, et al. Biodegradación de poliestireno por larvas de *Tenebrio molitor*, *Galleria mellonella* y *Zophobas atratus* y comparación de sus efectos de degradación. *Polímeros*, 2021, vol. 13, n° 20, pág. 3539. <https://doi.org/10.3390/polym13203539>

JIMÉNEZ GONZÁLEZ, Consuelo Giovanna, et al. Biodegradación del poliestireno expandido por larvas de *Galleria mellonella* linnaeus (lepidoptera: pyralidae) en condiciones de laboratorio. 2019. Disponible en <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/37360>

Jyoti Kaushal, Madhu Khatri, Shailendra Kumar Arya. Recent insight into enzymatic degradation of plastics prevalent in the environment: A mini- review. Volume 2, 2021. ISSN 2666-7908. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2021.100083>.

JORJAO, Adeline. From moths to caterpillars: Ideal conditions for *Galleria mellonella* rearing for in vivo microbiological studies.

2018. DOI:

[10.1080/21505594.2017.1397871](https://doi.org/10.1080/21505594.2017.1397871)

KAUSHAL, Jyoti B., et al. Correction: Kaushal et al. Repurposing Niclosamide for Targeting Pancreatic Cancer by Inhibiting Hh/Gli Non-Canonical Axis of Gsk3 $\beta$ . *Cancers* 2021, 13, 3105. *Cancers*, 2021, vol. 13, no 22, p. 5591.

<https://doi.org/10.3390/cancers13225591>

KAUSHAL, Jyoti; KHATRI, Madhu; ARYA, Shailendra Kumar. Recent insight into enzymatic degradation of plastics prevalent in the environment: A mini-review. *Cleaner Engineering and Technology*, 2021, vol. 2, p. 100083. . Disponible en:

<https://doi.org/10.1016/j.clet.2021.100083> ISSN 2666-7908

KHYADE, Vithhalrao Bhimasha. Review On Biodegradation of Plastic Through Waxworm (Order: Lepidoptera; Family: Pyralidae). *Revista Académica Internacional de Economía* , 2018, vol. 5, nº 4, pág. 31-38. Disponible en:

[https://www.researchgate.net/publication/337283711\\_Review\\_On\\_Biodegradati\\_on\\_of\\_Plastic\\_Through\\_Waxworm\\_Order\\_Lepidoptera\\_Family\\_Pyralidae](https://www.researchgate.net/publication/337283711_Review_On_Biodegradati_on_of_Plastic_Through_Waxworm_Order_Lepidoptera_Family_Pyralidae)

KONG, Hyun Gi, et al. The *Galleria mellonella* hologenome supports microbiota-independent metabolism of long-chain hydrocarbon beeswax. *Cell Reports*, 2019, vol. 26, no 9, p. 2451-2464. e5.

Disponible en:

<https://doi.org/10.1016/j.celrep.2019.02.018> ISSN 2211-1247

KUNDUNGAL, Harsha, et al. Efficient biodegradation of polyethylene (HDPE) waste by the plastic-eating lesser waxworm (*Achroia grisella*). *Environmental Science and Pollution Research*, 2019, vol. 26, no 18, p. 18509-18519. Disponible en: 10.1007/s11356-019-05038-9

LEMOINE, Christophe MR, et al. A very hungry caterpillar: polyethylene metabolism and lipid homeostasis in larvae of the greater wax moth (*Galleria mellonella*). *Environmental Science & Technology*, 2020, vol. 54, no 22, p. 1470614715. <https://doi.org/10.1021/acs.est.0c04386>

LI J, HONG, R.; et al. Rapid biodegradation of polyphenylene sulfide plastic beads by *Pseudomonas* sp. 2020. Volumen 720. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137616>

LOU, Yu, et al. Biodegradation of polyethylene and polystyrene by greater wax moth larvae (*Galleria mellonella* L.) and the effect of co-diet supplementation on the core gut microbiome. *Environmental science & technology*, 2020, vol. 54, no 5, p. 2821-2831. <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b07044>

MOHANAN, Nisha, et al. Microbial and enzymatic degradation of synthetic plastics. *Frontiers in Microbiology*, 2020, vol. 11, p. 580709. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.580709>

MINAM. Cifras del mundo y el Perú. 2020. [Recuperado en] <https://www.minam.gob.pe/menos-plastico-mas-vida/cifras-del-mundo-y-elperu/>

PARDAL-REFOYO, José Luis; PARDAL-PELÁEZ, Beatriz. Anotaciones para estructurar una revisión sistemática. *Revista ORL*, 2020, vol. 11, no 2, p. 155160. Disponible en: <https://scielo.isciii.es/pdf/orl/v11n2/2444-7986-orl-11-02155.pdf>

PARTHUISOT, Nathalie; ROUQUETTE, Jacques; FERDY, Jean-Baptiste. A high-throughput technique to quantify bacterial pathogens' virulence on the insect model *Galleria mellonella*. *Journal of microbiological methods*, 2018, vol. 152, p. 69-72. <https://doi.org/10.1016/j.mimet.2018.07.013>

PEYDAEI, Asal, et al. Mastication of polyolefins alters the microbial composition in *Galleria mellonella*. *Environmental Pollution*, 2021, vol. 280. ISSN: 0269-7491. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.116877>.



PIVATO, Andressa F., et al. Hydrocarbon-based plastics: Progress and perspectives on consumption and biodegradation by insectlarvae. *Chemosphere*, 2022, p. 133600. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.133600>

PUICON TUEROS, Alexis Manuel. La implementación del impuesto ambiental al uso de bolsas plásticas como mecanismo alternativo de reducción de la contaminación marina en el Perú. 2018. Disponible en:

[https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/19967/Puicon\\_TA\\_M.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/19967/Puicon_TA_M.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

REN, Liu, et al. Biodegradation of polyethylene by *Enterobacter* sp. D1 from the guts of wax moth *Galleria mellonella*. *International journal of environmental research and public health*, 2019, vol. 16, no 11, p. 1941. <https://doi.org/10.3390/ijerph16111941>

ROH, Seung Jin, et al. A new species of *Galleria* Fabricius (Lepidoptera, Pyralidae) from Korea based on molecular and morphological characters. *ZooKeys*, 2020, vol. 970, p. 51. Disponible en: [10.3897/zookeys.970.54960](https://doi.org/10.3897/zookeys.970.54960)

SANCHEZ-HERNANDEZ, Juan C. A toxicological perspective of plastic biodegradation by insect larvae. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, 2021, vol. 248, p. 109117. <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2021.109117>

Shuai Wang, Wei Shi, Zhichu Huang, Nihong Zhou, Yanling Xie, Yu Tang, Fuliang Hu, Guangxu Liu, Huoqing Zheng. Complete digestion/biodegradation of polystyrene microplastics by greater wax moth (*Galleria mellonella*) larvae: Direct in vivo evidence, gut microbiota independence, and potential metabolic pathways. *Journal of Hazardous Materials*, Volume 423, Part B, 2022, 127213, ISSN 0304-3894, <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.127213>

SINGH, J.; GUPTA, Sonali A. Una revisión sobre la utilización y biodegradación de residuos plásticos. J Sci Res, Universidad Hindú de Benaras , 2021, vol. 65, nº 2.

Disponible en: [https://www.bhu.ac.in/research\\_pub/jsr/Volumes/JSR\\_65\\_02\\_2021/3.pdf](https://www.bhu.ac.in/research_pub/jsr/Volumes/JSR_65_02_2021/3.pdf)

SINGKUM, Pantira, et al. A powerful in vivo alternative model in scientific research: *Galleria mellonella*. *Acta Microbiologica et Immunologica Hungarica*, 2019, vol. 66, no 1, p. 25. Disponible en: 10.1556/030.66.2019.001

SIESQUEN ANGULO, Blanca Nélica; TRUJILLO VENTURA, Lourdes Macarena. Utilización del gusano de cera (*Gallería mellonella*) para la biodegradación de los contenedores de poliestireno expandido (tecnopor), Moyobamba, 2019. 2019. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12692/47724>

TORRES, Mariela; SALAZAR, Federico G.; PAZ, Karim. Métodos de recolección de datos para una investigación. 2019. Disponible en: <http://biblioteca.udgvirtual.udg.mx/jspui/handle/123456789/2817>

VELASCO, Miguel. Biodegradación del polietileno de baja densidad, mediante el uso del lepidóptero *Gallería mellonella* bajo condiciones térmicas controladas en el 2017 [Disponible en] [https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/12614/Velasco\\_U\\_MJ.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/12614/Velasco_U_MJ.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Vitthalrao Khyade. Review On Biodegradation of Plastic Through Waxworm (Order: Lepidoptera; Family: Pyralidae). 2018. Vol. 5, No. 4, 2018, pp. 31-38. ISSN 2454-2474 . DOI: 10.9756/IAJE/V5I1/1810008

WANG, Chao, et al. Structure of the global plastic waste trade network and the impact of China's import Ban. *Resources, Conservation and Recycling*, 2020, vol. 153, p. 104591. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104591>

WANG, Shuai, et al. Complete digestion/biodegradation of polystyrene microplastics by greater wax moth (*Galleria mellonella*) larvae: Direct in vivo evidence, gut microbiota independence, and potential metabolic pathways.

*Journal of Hazardous Materials*, 2022, vol. 423, p. 127213.

<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.127213> .

ZHU, Ping, et al. Feeding preference of insect larvae to waste electrical and electronic equipment plastics. *Science of The Total Environment*, 2022, vol. 807,

p. 151037. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151037>

ZHU, Ping, et al. Biodegradation of plastics from waste electrical and electronic equipment by greater wax moth larvae (*Galleria mellonella*). *Journal of Cleaner Production*, 2021, vol. 310, p. 127346.

<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127346>

## Anexos

Tabla 6: Matriz de categorización Apriorística.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS	PROBLEMAS ESPECÍFICOS	CATEGORÍA	SUBCATEGORÍA	CRITERIO 2
Explicar las características biológicas del Gusano de cera <i>Galleria mellonella</i> capaces de biodegradar materiales plásticos.	¿Cuáles son las características biológicas del Gusano de cera <i>Galleria mellonella</i> capaces de biodegradar materiales plásticos?	Características biológicas del Gusano de cera <i>Galleria mellonella</i> .	Flora intestinal, larvas, polilla, gusano y aspectos fisiológicos.	(Wang et al., 2022) (Peydaei, et al., 2021) (Lemoine, et al., 2020) (Cassone, et al., 2022) (Zhao, et al., (2019) (Mohamed, et al., 2022) (Desai, et al., 2019).
Identificar los tipos de plásticos que biodegradan el gusano de cera <i>Galleria mellonella</i> .	¿Cuáles son los tipos de plástico que biodegradan el gusano de cera <i>Galleria mellonella</i> ?	Tipos de plásticos	Poliestireno, Polietileno, Polipropileno, Polietileno de baja densidad, Residuos eléctricos y electrónicos de equipos de plástico y Poliestireno expandido.	(Jimenez, 2019) (Kundungal, et al., 2019) (Lou, et al., 2020) (Siesquen, 2019) (Peydaei; et al., 2021) (Velasco, 2017)
Describir las rutas de biodegradación del gusano de cera <i>Galleria mellonella</i> .	¿Cuáles son las rutas de biodegradación del gusano de cera <i>Galleria mellonella</i> ?	Rutas de biodegradación (reacciones bioquímicas + ATP, crecer y reproducirse).	Comportamiento, transcripción intestinal, papel de microesferas, supervivencia de consumo de plástico, análisis genómico.	(Lemoine et al.; 2020) (Shuai, et al., 2022)

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7: Matriz de recolección de datos

N°	TÍTULO DE INVESTIGACIÓN	AÑO	AUTORES	REVISTA	TIPO DE ESTUDIO	METODOLOGÍA	CONCLUSIÓN
1	Biodegradación del polietileno de baja densidad, mediante el uso del lepidóptero <i>Galleria mellonella</i> bajo condiciones térmicas controladas en el 2017.	2017	VELASCO, Miguel.	Repositorio.	Diseño experimental.	Experimentos realizados en laboratorios.	Realizaron experimentos donde el gusano de cera biodegrada el plástico, empleando en dos tipos de temperaturas.
2	Biodegradation of plastics from waste electrical and electronic equipment by greater wax moth larvae ( <i>Galleria mellonella</i> ).	2021	Zhu, Ping.; Pan, X.; Liu; et al.	Science Direct	Diseño experimental	Experimentos realizados en laboratorios	Realizaron experimentos con residuos de plásticos de electrodomésticos.

3	Biodegradación de poliestireno por larvas de <i>Tenebrio molitor</i> , <i>Galleria mellonella</i> y <i>Zophobas atratus</i> y comparación de sus efectos de degradación	2021	GUILLÉN, Tatiana.; PAREDES, Rocío.	Repositorio.	Diseño experimental.	Fueron realizados en un Laboratorio.	Reducir contaminación de Plástico y ternopor empleando el gusano de cera.
4	Complete digestion/biodegradation of polystyrene microplastics by greater wax moth ( <i>Galleria mellonella</i> ) larvae: Direct in vivo evidence, gut microbiota independence, and potential metabolic pathways.	2022	Shuai W.; Wei Shi.; Zhichu H.; N.; Nihong Z.; et al.	Science Direct	Diseño experimental	Experimentos realizados en laboratorios.	Este experimento se encarga de conocer la biodegradación de microplásticos de poliestireno a través del gusano de cera como importancia su microbiana intestinal.

Fuente: Elaboración propia.



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

### **Declaratoria de Autenticidad del Asesor**

Yo, QUEZADA ALVAREZ MEDARDO ALBERTO, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - TRUJILLO, asesor de Tesis titulada: "Revisión Sistemática: Eficacia del gusano de cera Galleria mellonella para la Biodegradación de Materiales Plásticos", cuyos autores son VENTURA SANCHEZ DEBORA KATERINE, QUEZADA ANGULO VICTOR GEOVANNI, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 6.00%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

TRUJILLO, 21 de Noviembre del 2022

<b>Apellidos y Nombres del Asesor:</b>	<b>Firma</b>
QUEZADA ALVAREZ MEDARDO ALBERTO <b>DNI:</b> 18110481 <b>ORCID:</b> 0000000202155175	Firmado electrónicamente por: MAQUEZADAA el 20- 12-2022 19:54:39

Código documento Trilce: TRI - 0449059