

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y

RECURSOS NATURALES



Tesis

Biodegradación con larvas del gusano de cera (*Galleria mellonella*) para la
disminución de la contaminación por plásticos a nivel laboratorio de la Universidad

Tecnológica de los Andes de Abancay - 2024

Asesor:

Mg. Fuentes Huamán Yhon

Autor:

Carbonelli Salas, Erika

Para optar el Título Profesional de:

Ingeniero Ambiental

Abancay – Apurímac – Perú

2025



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TÍTULO PROFESIONAL

En la ciudad de Abancay, a los 07 días del mes de agosto del 2025, siendo las 09:00 a.m. horas, se reunieron los integrantes del Jurado designado por Resolución Directoral N° 0158-2025-UTEA-FI-EPIARN de fecha 04 de agosto del 2025 de la Escuela Profesional de Ing. Ambiental y Recursos Naturales, Facultad de Ingeniería:

Presidente :	Mg. Kristhel Jaylane Calderón Aedo
Dictaminante :	Mg. Vanesa Salas Peña
Replicante :	Mg. Milagros Carolina Vargas Amiquero

Para evaluar la sustentación, en la modalidad de:

Tesis Trabajo de suficiencia profesional

Titulada:

Biodegradación con larvas del gusano de cera (*Galleria mellonella*) para la disminución de la contaminación por plásticos a nivel de Laboratorio de la Universidad Tecnológica de los Andes de Abancay-2024.

Desarrollado por el (la) (los) Bachiller (es):

Br.: Carbonelli Salas, Erika
(Apellidos y Nombres)

Para optar el Título Profesional de:

Ingeniero Ambiental
(Denominación del Título)

Concluido el acto, el Jurado dictaminó que el (la) (los) mencionado(a) (s) bachiller (es) fue (ron) APROBADO (S):

Por: Unanimidad⁹

(Unanimidad o Mayoría) (*)

Emitiéndose el calificativo final de:

Bachiller (Apellidos y Nombres)	Calificación (**)
Carbonelli Salas Erika	Aprobado

Siendo las 12:40 horas concluyó la sesión, firmando los integrantes del Jurado.

Presidente: Mg. Kristhel Jaylane Calderón Aedo
(Dr. Mg.). (Apellidos y Nombres)

(Firma)

Dictaminante: Mg. Vanesa Salas Peña
(Dr. Mg.). (Apellidos y Nombres)

(Firma)

Replicante: Mg. Milagros Carolina Vargas Amiquero
(Dr. Mg.). (Apellidos y Nombres)

(Firma)

Biodegradación con larvas del gusano de cera (*Galleria mellonella*) para la disminución de la contaminación por plásticos a nivel laboratorio de la Universidad Tecnológica de los Andes de Abancay - 202

INFORME DE ORIGINALIDAD



FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	4%
2	Submitted to Universidad Tecnológica de los Andes Trabajo del estudiante	4%
3	repositorio.ucss.edu.pe Fuente de Internet	2%
4	repositorio.utea.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	1%
6	MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE SANTA. "PMR del Distrito de Santa 2017-IGA0010560", O.M. N° 015-2017-MDS, 2020 Publicación	1%
7	www.coursehero.com Fuente de Internet	<1%
8	repositorio.unh.edu.pe Fuente de Internet	<1%
9	dspace.ups.edu.ec Fuente de Internet	<1%
10	cienciadigital.org Fuente de Internet	<1%
11	repositorio.ual.es Fuente de Internet	<1%
12	Salamanca Ruiz, Brenda Johana Vera Guacheta, Laura Lucia. "Propuesta metodológica para la obtención de un	<1%

Metadatos complementarios

Datos del autor	
Apellidos y nombres	: Carbonelli Salas Erika
Tipo de Documento de identidad	: DNI
Numero de Documento de Identidad	: 70441036
URL ORCID	: https://orcid.org/0009-0006-8569-9237
Datos del Asesor	
Apellidos y nombres	: Mg. Fuentes Huamán Yhon
Tipo de Documento de Identidad	: DNI
Numero e Documento de Identidad	: 46478545
URL ORCID	: https://orcid.org/0000-0003-4228-1982
Datos de la investigación	
Facultad	: Ingeniería
Escuela Profesional	: Ingeniería Ambiental y Recursos Naturales
Línea de Investigación	: Calidad Ambiental
Rango de años en que se realizó la investigación	: 2024
Fuente de financiamiento	: Autofinanciada
Porcentaje de similitud	: 20%
URL de OCDE	: https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.07.01

Dedicatoria

- A mi Madre, Yrma Salas Trujillo quién es mi motivación para lograr mis metas, gracias a su apoyo incondicional, gracias a ella logré todo lo que me propuse.
- A mi hermana, María Teresa de Jesús por su apoyo que me dio durante mi formación profesional.
- A mi hermano Angel Arcadio, por el apoyo incondicional que me dio durante mi formación profesional.
- A mi amiga, Mirian, que como una hermana me guio durante mi formación profesional.

Agradecimiento

A mi familia por su amor y apoyo constante, y por ayudarme a convertirme en la persona de valores y principios que soy.

Como también a la Universidad Tecnológica de los Andes, del mismo modo a los docentes de la carrera profesional de Ingeniería Ambiental por el apoyo durante la elaboración de esta tesis.

Resumen

La presente investigación determinó la capacidad de biodegradación de plásticos mediante las larvas de gusano de cera (*Galleria mellonella*) a nivel de laboratorio, en la Universidad Tecnológica de los Andes – Abancay.

Se aplicó un diseño cuasi-experimental con enfoque cuantitativo, exponiendo a las larvas a los tres tipos de polímeros bajo cinco tipos de dieta: maíz, avena, avena con miel, afrecho y comida de gato, durante un periodo de 120 horas. Teniendo como población el plástico generado en la carrera profesional de Ingeniería Ambiental y Recursos Naturales de la Universidad Tecnológica de los Andes, siendo la muestra de la investigación 21g de plástico.

Los resultados indicaron que el poliestireno expandido fue el plástico más degradado (hasta 22,82 mg), especialmente con dieta de comida de gato, seguido del poliestileno de baja densidad y el polipropileno. Asimismo, se evidenció que la dieta y el tiempo de exposición influyen significativamente en la eficiencia del proceso, registrándose la mayor actividad degradativa en las primeras 24 horas. En promedio, las larvas lograron biodegradar hasta un 1,8 % del plástico inicial en cinco días. Estos hallazgos confirman el potencial biotecnológico de *Galleria mellonella* como agente biodegradador, proponiéndolo como una alternativa innovadora y sostenible en la gestión de residuos plásticos.

Palabras clave: *Galleria mellonella*, biodegradación, residuos plásticos, polietileno, polipropileno, dieta larval.

Abstract

This research determined the biodegradation capacity of plastics by waxworm larvae (*Galleria mellonella*) in a laboratory setting at the Universidad Tecnológica de los Andes – Abancay.

A quasi-experimental design with a quantitative approach was applied, exposing the larvae to three types of polymers under five diets: corn, oats with honey, bran, and cat food, for a period of 120 hours. The sample was based on the plastic generated in the Environmental Engineering and Natural Resources program at the Universidad Tecnológica de los Andes, and the research sample consisted of 500g of plastic.

The results indicated that expanded polystyrene was the most degraded plastic (up to 22.82 mg), especially when fed with cat food, followed by LDPE and PP. Furthermore, it was shown that diet and exposure time significantly influence the efficiency of the process, with the greatest degradative activity recorded in the first 24 hours. On average, the larvae managed to biodegrade up to 1.8% of the initial plastic in five days. These findings confirm the biotechnological potential of *Galleria mellonella* as a biodegrading agent, proposing it as an innovative and sustainable alternative for plastic waste management.

Keywords: *Galleria mellonella*, biodegradation, plastic waste, polyethylene, polypropylene, larval diet.

Índice

	Pág.
Portada.....	i
Acta de sustentación.....	ii
Reporte de similitud.....	iii
Metadatos complementarios.....	iv
Dedicatoria.....	v
Agradecimiento.....	vi
Resumen.....	vii
Abstract.....	viii
Índice general.....	ix
Índice de tablas.....	xiii
Índice de figuras.....	xvi
Índice de anexos.....	xvii
I. Introducción.....	17
II. Planteamiento del problema	18
2.1 Descripción y formulación del problema	19
2.1.1 Problema General.....	19
2.1.2 Problemas Específicos	19
2.2 Objetivos.....	20
2.2.1 Objetivo General.....	20
2.2.2 Objetivos Específicos	20
2.3 Justificación e importancia	21
2.3.1Justificacion.....	21
2.3.2 Importancia.....	22

2.4	Hipótesis	23
2.4.1	Hipótesis General.....	23
2.4.2	Hipótesis Especificas	23
2.5	Variables	24
III.	Marco Teórico	25
3.1	Antecedentes.....	25
3.1.1	A Nivel Internacional	25
3.1.2	A Nivel Nacional	28
3.1.3	A Nivel Regional y Local.....	32
3.2	Bases teóricas.....	32
3.2.1	Larvas de Gusano de Cera (Galleria mellonella).....	32
3.2.3	Morfología por estadio de desarrollo.....	33
3.2.4	Dieta de Galleria mellonella	33
3.2.5	Biodegradación de plásticos	34
3.2.6	Factores que influyen en la biodegradación de plásticos.....	35
3.2.7	Mecanismos de biodegradación biótica.....	36
3.2.8	Biodegradación de PET por Galleria mellonella	36
3.2.9	Plásticos convencionales vs. Biodegradables	37
3.2.10	Polietileno de baja densidad (LDPE).....	38
3.2.11	Poliestireno expandido (PPE)	38
3.2.12	Polipropileno (PP)	38
3.3	Definición de términos	40

3.3.1	Larvas	40
3.3.2	Galleria Mellonella	41
3.3.3	Crianza	41
3.3.4	Técnica.....	41
3.3.5	Capacidad	41
3.3.6	Biodegradación	42
3.3.7	Degradación.....	42
3.3.8	Glicol	42
3.3.9	Bacillussp.....	42
3.3.10	Microbiota de insectos	42
3.3.11	Endobacter asburiae.....	43
3.3.12	Plástico.....	43
3.3.13	Polietileno	43
3.3.14	Polietileno de baja densidad	43
IV.	Metodología.....	44
4.1.	Tipo y nivel de investigación.....	44
4.2.	Ámbito temporal y espacial	45
4.3.	Población y muestra.....	46
4.4	Instrumentos.....	46
4.5.	Procedimientos.....	48
4.5.1	Crianza de Galleria Mellonella.....	48
4.5.2	Recolección de plásticos y selección de plástico.....	50

4.5.3	Preparación del experimento	51
4.5.4	Peso final de las Larvas y el Plástico.....	53
4.6.	Análisis de datos	54
4.7.	Consideraciones éticas	54
V.	Resultados y discusión	56
5.1	Resultados.....	56
5.1.1	Análisis de la capacidad de biodegradación de plásticos	56
5.1.2	Capacidad de biodegradación de plásticos según el tipo de plástico.....	57
5.1.3	Evaluación del efecto de las dietas en la biodegradación de plásticos	59
5.1.1	Análisis de la capacidad de biodegradación de plásticos durante diferentes periodos de exposición	65
5.1.2	Prueba de hipótesis	71
5.2	Discusión de Resultados	85
VI.	Conclusiones.....	87
VII.	Recomendaciones	88
VIII.	Referencias bibliográficas	89

Índice de Tablas

Pág.

Tabla 1. Operacionalización de variables.....	24
Tabla 2. Datos del porcentaje de plástico biodegradado	56
Tabla 3. Capacidad de biodegradación de plásticos por <i>Galleria mellonella</i> según tipo de plástico.....	58
Tabla 4. Capacidad de biodegradación de plásticos por <i>Galleria mellonella</i> según tipo de plástico y dieta	60
Tabla 5. Datos de Polietileno de baja densidad biodegradado	62
Tabla 6 . Datos de Polietileno de baja densidad biodegradado	63
Tabla 7 . Datos de Polietileno de baja densidad biodegradado	64
Tabla 8. Capacidad de biodegradación de plásticos por <i>Galleria mellonella</i> según tiempo de exposición (horas)	66
Tabla 9 . Biodegradación de polietileno de baja densidad según periodo de exposición...	69
Tabla 10. Biodegradación de poliestireno expandido según periodo de exposición.....	70
Tabla 11. Biodegradación de polipropileno según periodo de exposición.....	71
Tabla 12 . Prueba t de Student para muestras emparejadas (peso inicial vs. peso final del plástico)	73
Tabla 13. Análisis de prueba ANOVA para los tipos de plástico biodegradado (mg).....	74
Tabla 14. Prueba de homogeneidad de varianzas para el plástico biodegradado (mg)	75
Tabla 15. Análisis de varianza (ANOVA) para el plástico biodegradado (mg) según tipo de plástico.....	76
Tabla 16. Media de plástico biodegradado (mg) según dieta suministrada a <i>Galleria mellonella</i> (polietileno de baja densidad).....	77

Tabla 17.Prueba de homogeneidad de varianzas de Levene para los valores de plástico biodegradado según dieta en larvas de Galleria mellonella (polietileno de baja densidad)	77
Tabla 18.Análisis de varianza (ANOVA) para el efecto de la dieta sobre el plástico biodegradado por larvas de Galleria mellonella (polietileno de baja densidad).....	78
Tabla 19.Prueba de homogeneidad de varianzas de Levene para plástico biodegradado según dieta (polietileno expandido).....	79
Tabla 20.Análisis de varianza (ANOVA) del nivel de biodegradación de polietileno expandido según dieta	79
Tabla 21.Prueba de homogeneidad de varianzas de Levene para plástico biodegradado según dieta (polipropileno).....	80
Tabla 22.Análisis de varianza (ANOVA) del nivel de biodegradación de polipropileno según dieta	81
Tabla 23. Prueba de homogeneidad de varianzas de Levene para plástico biodegradado según horas de exposición (polietileno de baja densidad).....	82
Tabla 24.Análisis de varianza (ANOVA) del nivel de biodegradación del polietileno de baja densidad según horas de exposición	82
Tabla 25.Prueba de homogeneidad de varianzas de Levene para plástico biodegradado según horas de exposición (polietileno expandido).....	83
Tabla 26.Análisis de varianza (ANOVA) del nivel de biodegradación del polietileno expandido según horas de exposición	83
Tabla 27 .Prueba de homogeneidad de varianzas de Levene para plástico biodegradado según horas de exposición (polipropileno).....	84
Tabla 28.Análisis de varianza (ANOVA) del nivel de biodegradación del polipropileno según horas de exposición	84

Índice de Figuras

Pág.

Figura 1.Ciclo de vida del gusano de cera.....	49
Figura 2.Recolección de plásticos de los contenedores de la E. P de Ingeniería Ambiental	50
Figura 3.Tachos diferenciados de residuos sólidos según la Norma Técnica Peruana NTP 900.058:2019 de la E.P de Ingeniería Ambiental, UTEA	51
Figura 4. Polietileno de baja densidad con la dieta de avena y 10 gusanos de cera.....	52
Figura 5. Polietileno expandido con la dieta de avena con 10 gusanos de cera	52
Figura 6.Polipropileno con la dieta de comida de gato con 10 gusanos de cera	53
Figura 7.Polietileno de baja densidad biodegradado por los gusanos de cera luego del experimento	54
Figura 8.Cantidad promedio de plástico biodegradado (mg) según tipo de plástico	59
Figura 9.Cantidad de polietileno de baja densidad biodegradado (mg) por Galleria mellonella según dieta suministrada.....	62
Figura 10.Cantidad de poliestireno expandido biodegradado (mg) por Galleria mellonella según dieta suministrada.....	63
Figura 11.Cantidad de polipropileno biodegradado (mg) por Galleria mellonella según dieta suministrada.....	64
Figura 12.Biodegradación de polietileno de baja densidad (mg) por Galleria mellonella según periodo de exposición (en horas)	69
Figura 13.Biodegradación de poliestireno expandido (mg) por Galleria mellonella según periodo de exposición (en horas).....	70
Figura 14.Biodegradación de polipropileno (mg) por Galleria mellonella según periodo de exposición (en horas).....	71
Figura 15 .Representación de la prueba t de Student mediante la curva normal.....	74

Índice de Anexos	Pág.
ANEXO 1. Matriz de consistencia	96
ANEXO 2. Instrumento de Recolección de datos	96
ANEXOS 3. Validacion de instrumentos	92
ANEXOS 4.Prueba de confiabilidad	96
ANEXOS 5. Panel fotografico	97

I. Introducción

En la presente investigación se determinó la capacidad de biodegradación de plásticos mediante larvas de gusano de cera en la Universidad Tecnológica de los Andes

El manejo inadecuado de los desechos de plástico de la Universidad Tecnológica de los Andes puede tener consecuencias significativas para el medio ambiente y la comunidad universitaria. Este problema puede manifestarse de diversas maneras, como la ausencia de programas de concientización, y la disposición incorrecta de los desechos de plástico en vertederos o su contaminación en áreas comunes.

En este apartado se expondrá la problemática relacionada con el manejo inadecuado de los residuos sólidos en la Universidad Tecnológica de los Andes, abordando tanto el problema general como los problemas específicos. Se explicará la justificación, importancia y relevancia del estudio, junto con los objetivos vinculados a la aplicación de los gusanos de cera (*Galleria mellonella*). Además, se presentarán antecedentes relacionados con el uso de estos gusanos, las bases teóricas y el marco conceptual del estudio. Se detallará la metodología empleada, incluyendo las hipótesis formuladas, el método utilizado para llevar a cabo la investigación, el tipo y diseño del estudio, la identificación de variables dependientes e independientes, así como las técnicas e instrumentos aplicados. También se abordará la validez y confiabilidad de los datos, y el procedimiento estadístico para su análisis. Finalmente, se describirán los resultados y su discusión, las conclusiones, recomendaciones, las referencias consultadas y los anexos que evidencian el desarrollo completo del trabajo de investigación.

II. Planteamiento del problema

La producción global de plástico ha crecido de manera exponencial en las últimas décadas, pasando de 2 millones de toneladas métricas en 1950 a 380 millones de toneladas métricas en 2015 (Royer et al., 2018). Este incremento ha generado un problema ambiental significativo debido a la acumulación de desechos plásticos en el medio ambiente.

Según Geyer et al. (2017), del total de plástico producido, el 30% sigue en uso, mientras que el resto (aproximadamente 6.000 millones de toneladas métricas) ha sido desechado. De estos residuos, solo el 9% ha sido reciclado, el 12% incinerado y el 79% permanece en vertederos o ha sido vertido en el medio ambiente. A esta problemática se añade el incremento en el uso de plásticos desechables durante la pandemia, lo cual evidenció la urgencia de implementar políticas más eficaces orientadas al reúso y reciclaje de estos materiales (Banco Interamericano de Desarrollo [BID], 2021).

En el contexto peruano, se estima que el consumo anual de plásticos alcanza aproximadamente las 950 mil toneladas, siendo Lima y Callao las regiones que más contribuyen a esta cifra, con la generación de más de 886 toneladas de residuos plásticos diariamente, lo que representa alrededor del 46% del total nacional (Ministerio del Ambiente, 2023). Sin embargo, solo una pequeña parte de estos residuos —alrededor del 10%— es reciclada o valorizada, mientras que el resto termina en botaderos, ríos o ecosistemas marinos, donde su descomposición puede tardar siglos, generando un impacto ambiental severo (Oceana Perú, 2023).

En la ciudad de Abancay, se generan aproximadamente 64.94 toneladas de residuos sólidos al día, de los cuales el 35,45 % corresponde a plásticos (Arias, 2011). En particular, dentro de la Universidad Tecnológica de los Andes, el manejo inadecuado de

desechos plásticos puede traer consecuencias ambientales significativas. Factores como la falta de contenedores adecuados para el reciclaje, la ausencia de programas de concientización y la disposición inadecuada de los residuos en vertederos o espacios comunes contribuyen a esta problemática. En espacios académicos como la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, la generación de residuos plásticos es constante, lo que resalta la necesidad de implementar estrategias de gestión más sostenibles.

En la presente investigación se busca evaluar el potencial de los gusanos de cera para la biodegradación de plásticos en condiciones de laboratorio, considerando variables como el tipo de plástico y la dieta de las larvas. Los hallazgos podrían contribuir al desarrollo de estrategias sostenibles para la gestión de residuos plásticos y a la búsqueda de soluciones innovadoras para la reducción de la contaminación ambiental.

2.1 Descripción y formulación del problema

2.1.1 Problema General

¿Cuál es la capacidad de biodegradación de plásticos por medio de larvas de gusano de cera (*Galleria mellonella*) a nivel de laboratorio en la Universidad Tecnológica de los Andes de Abancay – 2024?

2.1.2 Problemas Específicos

- ¿Qué tipo de plástico (polietileno de baja densidad, poliestireno expandido y polipropileno), tiene una mayor biodegradación por medio gusanos de cera (*Galleria Mellonella*) durante 5 días en la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y RR. NN?
- ¿Qué tipo de dieta en larvas de (*Galleria mellonella*) genera una mayor biodegradación de plástico (polietileno de baja densidad, poliestireno

expandido o polipropileno) durante un período de 5 días, a nivel de laboratorio en la Universidad Tecnológica de los Andes de Abancay – 2024?

- ¿Qué periodo de exposición en horas genera un efecto significativo en la biodegradación de plástico (polietileno de baja densidad, poliestireno expandido y polipropileno) durante un período de 5 días, a nivel de laboratorio en la Universidad Tecnológica de los Andes de Abancay – 2024?

2.2 Objetivos

2.2.1 Objetivo General

- Determinar la capacidad de biodegradación de plásticos mediante larvas de gusano de cera (*Galleria mellonella*) a nivel de laboratorio en la Universidad Tecnológica de los Andes de Abancay – 2024.

2.2.2 Objetivos Específicos

- Identificar qué tipo de plástico (polietileno de baja densidad, poliestireno expandido o polipropileno) presenta una mayor capacidad de biodegradación al ser expuesto a larvas de *Galleria mellonella* durante un período de 5 días, a nivel de laboratorio en la Universidad Tecnológica de los Andes de Abancay – 2024.
- Evaluar el efecto de distintos tipos de dieta en las larvas de *Galleria mellonella* sobre la biodegradación de plásticos durante un período de 5 días, a nivel de laboratorio en la Universidad Tecnológica de los Andes de Abancay – 2024.
- Determinar qué periodo de exposición en horas genera un efecto significativo en la biodegradación del polietileno de baja densidad, poliestireno expandido y polipropileno, durante un período de 5 días, a nivel de laboratorio en la Universidad Tecnológica de los Andes de Abancay – 2024.

2.3 Justificación e importancia

2.3.1 Justificación

El uso de insectos para la biodegradación de plásticos es un campo de estudio emergente que, aunque aún no es viable a gran escala, representa una alternativa prometedora en la gestión sostenible de residuos plásticos (Rodríguez-Carreón et al., 2021). Diversas investigaciones han demostrado que ciertos organismos poseen enzimas capaces de degradar polímeros plásticos, lo que sugiere un potencial significativo para su aplicación en el tratamiento de desechos. En este sentido, *Galleria mellonella* ha sido identificada como una especie capaz de descomponer polietileno, gracias a enzimas presentes en su sistema digestivo (Bombelli et al., 2017; Brandon et al., 2018).

A pesar de los avances en este campo, se requiere mayor investigación para optimizar el proceso de biodegradación y comprender las condiciones específicas que favorecen la acción enzimática de estos organismos. Rodríguez-Carreón et al. (2021) enfatizan la importancia de seguir explorando la diversidad de insectos con potencial biodegradador, así como la aplicación de técnicas modernas como la metagenómica y la ingeniería genética, que podrían mejorar la eficiencia del proceso. En este contexto, la presente investigación busca evaluar el potencial de los gusanos de cera en condiciones de laboratorio, considerando factores como el tipo de plástico y la dieta de las larvas.

El desarrollo de esta investigación es relevante no solo desde el punto de vista científico, sino también ambiental y social, ya que la acumulación de plásticos representa una de las principales problemáticas de contaminación en la actualidad. Los resultados obtenidos podrían aportar información valiosa para el diseño de estrategias innovadoras y sostenibles en la gestión de residuos plásticos,

contribuyendo así a la reducción del impacto ambiental causado por su acumulación en ecosistemas terrestres y acuáticos.

2.3.2 Importancia

La utilización de gusanos para biodegradar plásticos se presenta como una solución novedosa con un impacto social considerable. En la actualidad, la contaminación plástica es una de las principales amenazas para nuestro entorno y la vida en la Tierra.

En este contexto, la biodegradación de plásticos con gusanos ofrece una esperanza para abordar este problema. Esta técnica aprovecha la capacidad natural de ciertas especies de gusanos para descomponer materiales plásticos en compuestos orgánicos más simples.

El uso de las larvas de gusanos de cera para la biodegradación de plásticos de la E.P de Ingeniería Ambiental y Recursos Naturales, beneficiará tanto al entorno universitario como a la comunidad en general, esta investigación servirá como base de datos para futuras investigaciones en el tema, del mismo puede ser de ayuda al municipio local y demás organizaciones locales involucradas en el tema ambiental. Esto no solo ayuda a reducir la huella ecológica de la institución, sino que también sirve como un ejemplo para estudiantes, profesores y la comunidad en general, fomentando una cultura de respeto por el Ambiente.

2.4 Hipótesis

2.4.1 Hipótesis General

- Las larvas de *Galleria mellonella* presentan una capacidad significativa de biodegradación de plásticos (polietileno de baja densidad, poliestireno expandido y polipropileno) durante un período de 5 días, a nivel de laboratorio en la Universidad Tecnológica de los Andes de Abancay – 2024.

2.4.2 Hipótesis Específicas

- Existe un tipo de plástico (polietileno de baja densidad, poliestireno expandido o polipropileno) que presenta una mayor biodegradación al ser expuesto a larvas de *Galleria mellonella* durante un período de 5 días, a nivel de laboratorio en la Universidad Tecnológica de los Andes de Abancay – 2024.
- La dieta suministrada a las larvas de *Galleria mellonella* influye significativamente en el nivel de biodegradación de los plásticos durante un período de 5 días, a nivel de laboratorio en la Universidad Tecnológica de los Andes de Abancay – 2024.
- El periodo de exposición en horas tiene un efecto significativo en la biodegradación del polietileno de baja densidad, poliestireno expandido y polipropileno durante un período de 5 días, a nivel de laboratorio en la Universidad Tecnológica de los Andes de Abancay – 2024.

2.5 Variables

Tabla 1

Operacionalización de variables

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADOR	UNIDAD DE MEDICIÓN
VARIABLE INDEPENDIENTE: Larvas de gusano de cera (<i>Galleria Mellonella</i>)	<p><i>Galleria mellonella</i> es una especie de lepidóptero cuyas larvas son conocidas como gusanos de cera. Estos organismos han demostrado poseer enzimas en su sistema digestivo capaces de degradar ciertos polímeros plásticos, particularmente el polietileno (Bombelli et al., 2017, p. 45).</p>	<p>En este estudio, se utilizarán larvas de <i>Galleria mellonella</i> criadas en condiciones de laboratorio, alimentadas con diferentes dietas, y expuestas a muestras de plástico para evaluar su capacidad de biodegradación mediante análisis de pérdida de peso del material y observaciones microscópicas de su acción enzimática.</p>	<p>Aplicación y dieta de las larvas de gusano de cera</p>	Cantidad de gusano	Und
				Maíz	g
				Afrecho	g
				Avena	g
				Avena con miel	g
				Comida de gato	g
VARIABLE DEPENDIENTE: Biodegradación de plástico	<p>La biodegradación de plástico es el proceso por el cual microorganismos, como bacterias y hongos, transforman polímeros plásticos en compuestos más simples, como agua, dióxido de carbono y biomasa, reduciendo así su impacto ambiental (Crespo, 2022, p. 32).</p>	<p>En esta investigación, la biodegradación de plástico se evaluará midiendo la reducción del peso de muestras de polietileno expuestas a larvas de <i>Galleria mellonella</i> durante un período determinado, en condiciones de laboratorio controladas.</p>	Tipos de plásticos	Polietileno de baja densidad	g
				Poliestireno expandido	g
				Polipropileno	g
			Periodos de exposición	Variación de peso del plástico en el tiempo (5 días)	g
				Humedad relativa	%
	Temperatura	°C			

Nota. *Operacionalización de variables extraída de la matriz de consistencia de la investigación*

III. Marco Teórico

3.1 Antecedentes

3.1.1 A Nivel Internacional

Billen et al. (2020), en su artículo titulado "Technological Application Potential of Polyethylene and Polystyrene Biodegradation by Macro-Organisms such as Mealworms and Wax Moth Larvae", realizada en Antwerpen, Bélgica, evaluaron la biodegradación del polietileno de baja densidad (LDPE) mediante larvas de *Galleria Mellonella*, empleando un enfoque cuantitativo con un diseño experimental basado en tres tratamientos distintos. Para ello, expusieron grupos de larvas a diferentes condiciones de película plástica de LDPE en vasos de precipitados sellados, incluyendo 0,154 g de película doblada sin apretar, 0,234 g de película sin doblar, 0,189 g de película doblada en cuatro capas y 2,834 g de bolsas negras con 15 larvas. Los resultados indicaron que la mayor tasa de reducción de masa se observó en la película de LDPE de 0,154 g, con una pérdida del 4,2% en 17 horas, equivalente a 0,91 mg/larva/día, mientras que las bolsas negras mostraron una degradación del 1,8% en 9 días, con una tasa de 0,38 mg/larva/día. La investigación concluyó que las larvas de *Galleria Mellonella* tienen un potencial significativo en la degradación de plásticos, destacando la importancia de explorar alternativas biotecnológicas para mitigar la contaminación plástica mediante macroorganismos.

Ali et al. (2023) en su artículo titulado "Biodegradability of polyethylene by efficient bacteria from the guts of plastic-eating waxworms and investigation of its degradation mechanism" tuvieron como objetivo evaluar el potencial de las larvas de *Achroia grisella* para biodegradar LDPE bajo diferentes condiciones alimenticias. La metodología consistió en dos fases: en la primera, se recolectaron y separaron los residuos orgánicos, específicamente las dietas alimenticias de cera alveolar (HCW), HCW-LDPE y

LDPE, para alimentar a las larvas. En la segunda fase, se aislaron las cepas bacterianas *Citrobacter freundii* y *Bacillus* sp. de las larvas de *Achroia grisella*, y se observó que la densidad celular de las cepas alcanzó $2,20 \times 10^8$ UFC/mL y $1,8 \times 10^8$ UFC/mL después de 5 días de incubación. Los resultados mostraron que los niveles de degradación alcanzados fueron del 51,3% y 58,3% durante la primera y segunda generación de larvas, respectivamente. Después de 30 días, la densidad celular aumentó a $7,3 \times 10^8$ UFC/mL y $5,9 \times 10^8$ UFC/mL, respectivamente. Además, se observaron cavidades formadas en el LDPE, lo que indicó una alta actividad bacteriana, con profundidades de hasta 1,2 μm . Los resultados proporcionaron evidencia de que las bacterias aisladas de las larvas de *Achroia grisella* tienen un potencial significativo para biodegradar LDPE, lo que sugiere un enfoque prometedor para la biodegradación de plásticos en el medio ambiente.

Cassone et al. (2022) en su artículo titulado "Fat on plastic: Metabolic consequences of an LDPE diet in the fat body of the greater wax moth larvae (*Galleria mellonella*)" tuvieron como objetivo determinar cómo una dieta basada en plástico afecta la fisiología metabólica de las larvas de *Galleria mellonella* durante el proceso de biodegradación plástica. La metodología utilizada incluyó la alimentación de las larvas con diferentes tipos de dietas (frutas, verduras y una combinación de ambas, con y sin plástico) en condiciones controladas de $24 \pm 1^\circ\text{C}$ y 85% de humedad relativa, con 4 repeticiones para cada tratamiento. Se evaluó la supervivencia de las larvas durante el estudio, encontrando que las alimentadas con frutas mostraron una probabilidad acumulada de supervivencia del 96,1%, mientras que las alimentadas con dietas que contenían plástico (PF) y con la mezcla de frutas y verduras tuvieron una supervivencia del 52,3% y 47,8%, respectivamente. La población utilizada fue polietileno de baja densidad (LDPE). Los resultados indicaron que las larvas de *Galleria mellonella* no pueden mantener una fisiología metabólica óptima cuando se alimentan con dietas que contienen plástico, lo que demuestra el impacto

negativo de la dieta de LDPE en el crecimiento y la tasa de supervivencia de las larvas. Concluyendo el estudio aporta una valiosa base de datos sobre la interacción entre la biodegradación de plásticos y los efectos metabólicos en los organismos que lo procesan.

Jiménez (2019), en su tesis de pregrado titulada "Biodegradación del poliestireno expandido por larvas de *Galleria mellonella* Linnaeus (*Lepidoptera: pyralidae*) en condiciones de laboratorio", realizada en Bogotá, Colombia, analizó la capacidad de consumo del lepidóptero *Galleria mellonella* sobre poliestireno expandido (PE). El estudio empleó una metodología experimental en el que se expusieron distintos grupos de larvas (T1=10, T2=20, T3=30 y T4=40 larvas) siendo la población de estudio poliestireno expandido y la muestra 5g de poliestireno expandido, incubándolas en placas Petri a 24 °C durante 37 días. Los datos se analizaron mediante las pruebas de Shapiro-Wilk y Levene, así como ANOVA y la prueba de Tukey ($\alpha=0,05$), evidenciando que la biodegradación del PE fue significativamente mayor en los tratamientos con mayor cantidad de larvas, con una probabilidad menor a 0,001. Los resultados indicaron que 40 larvas de *Galleria mellonella* consumieron 103,88 mg de PE en 168 horas, degradando el 84,77% del material y generando 84,77 mg de excretas sólidas. En conclusión, la cantidad de larvas influyó de manera significativa en la biodegradación del PE, demostrando que este lepidóptero puede degradar el material de manera efectiva en un rango de temperatura de 21 a 26 °C, manteniendo dicho proceso hasta la etapa adulta.

Márquez (2019) llevó a cabo su tesis de pregrado en Bogotá, Colombia, titulada "Viabilidad de la biodegradación de polietileno y poliuretano por la polilla de la cera (*Galleria mellonella*): factores que afectan tasas de degradación y supervivencia". El estudio tuvo como objetivo evaluar la eficiencia de la biodegradación del poliuretano y polietileno, así como el crecimiento y desarrollo de las larvas al utilizar estos materiales como fuente de alimento. La metodología empleada fue colocar 60 larvas en cada

tratamiento y se sometieron a un proceso de biodegradación en una cámara ambiental a 27 °C durante 34 días. La biodegradación se evaluó mediante la recolección de heces, las cuales fueron analizadas por espectroscopía infrarroja para determinar la composición porcentual de las sustancias y materiales a partir de las radiaciones emitidas. El análisis de los datos se realizó mediante (ANOVA) utilizando el software estadístico R. Los resultados mostraron diferencias ($p = 0.00265$) en el peso del material en cada tratamiento expuesto a *Galleria mellonella* después de 7 días. Asimismo, los espectros infrarrojos obtenidos entre los 7 y 14 días evidenciaron variaciones que sugieren una interacción molecular en las heces, identificando grupos funcionales como alcohol (O-H) y polimérico en la región de $3,400 - 3,200 \text{ cm}^{-1}$, característicos del enlace uretano (N-H). Teniendo los siguientes resultados, en cuanto al crecimiento y la masa corporal de las larvas, se observó un incremento significativo en su peso durante los periodos de 0-7 y 7-14 días en los tratamientos que incluían cera. La investigación concluyó que *Galleria mellonella* posee un notable potencial para la biodegradación de polímeros como el polietileno, evidenciando una biotransformación efectiva del material. Además, se determinó que una dieta más rica favorece un mayor tamaño y voracidad en las larvas.

3.1.2 A Nivel Nacional

Chávez y Lizana (2022), en su tesis de pregrado titulada "Cantidad óptima de larvas del "gusano de la cera" *Galleria mellonella* L. en biodegradación del polietileno de baja densidad", realizada en Lima, Perú, que tuvo como objetivo evaluar la eficiencia de *Galleria mellonella* en la biodegradación del polietileno de baja densidad (PEBD). El estudio se llevó a cabo en condiciones de laboratorio, iniciando con la captura de polillas adultas en colmenas de abejas en desuso, donde se permitió la oviposición durante tres días. Luego de un período de incubación de 15 a 20 días, los huevos eclosionaron y las larvas fueron monitoreadas hasta alcanzar un tamaño óptimo de 20 a 30 mm.

Posteriormente, se evaluó la biodegradación del PEBD mediante la exposición de diferentes cantidades de larvas (50, 100 y 150) la muestra fue de 0,5 gramos del material plástico durante 48 horas, obteniéndose como resultado que el grupo de 150 larvas logró una biodegradación promedio de 0,28 gramos de PEBD, lo que representó el 56% del material expuesto. La investigación concluyó que *Galleria mellonella* tiene un alto potencial para la biodegradación del polietileno, y que una mayor cantidad de larvas mejora significativamente la eficiencia del proceso; sin embargo, se recomienda realizar estudios adicionales para optimizar la aplicación a mayor escala y evaluar su viabilidad en la gestión de residuos plásticos.

Guillén & Paredes (2022) en su tesis titulada "Capacidad biodegradable de las especies *Tenebrio molitor* y *Galleria mellonella*, en la contaminación por poliestireno y PEBD, Vítor, Arequipa, 2021" tuvieron como objetivo determinar si la capacidad biodegradable de las especies *Tenebrio molitor* y *Galleria mellonella* posibilita la reducción de la contaminación por poliestireno (TECNOPOR) y polietileno de baja densidad (PEBD). Se utilizó un diseño experimental con una población de 200 y 300 individuos de ambas especies, alimentadas con dietas de 10 a 65 gramos de poliestireno y PEBD durante periodos de 8 a 32 horas. Se controlaron las condiciones termohigrométricas y se evaluó la reducción de peso de los plásticos. Los resultados indicaron que ambas especies son capaces de biodegradar estos plásticos, con *Galleria mellonella* mostrando un mayor consumo de PEBD, alcanzando hasta 17 gramos en 24 horas, lo que evidencia su mayor eficiencia biodegradativa, la investigación concluyó que las especies *Tenebrio molitor* y *Galleria mellonella* tienen la capacidad de biodegradar plásticos.

Espinoza (2018) realizó su tesis de pregrado titulada “Eficiencia de las larvas *Tenebrio molitor* y *Galleria mellonella* para la biodegradación de micro plásticos de la playa Costa Azul, Ventanilla, Callao, 2018”, cuyo objetivo fue determinar la eficiencia de estas larvas en la biodegradación de microplásticos como el tereftalato de polietileno (PET), cloruro de polivinilo (PVC) y poliestireno expandido (EPS). La investigación se llevó a cabo en períodos de 5, 10 y 15 días, evidenciando una reducción significativa en el peso de los polímeros, con un 54.2 % de biodegradación del EPS por 30 larvas de *Tenebrio molitor* y un 34.4 % del PVC por 30 larvas de *Galleria mellonella*. Además, se observó que las larvas aumentaron de tamaño y disminuyeron su peso en función del tiempo de biodegradación, lo que sugiere una relación directa entre su desarrollo y la eficiencia del proceso. El estudio concluyó que existe un alto nivel de biodegradabilidad de los microplásticos por ambas especies, siendo *Tenebrio molitor* la más eficiente, y recomendó realizar estudios con diferentes cantidades de larvas y un seguimiento de su desarrollo para evaluar posibles alteraciones debido al consumo de microplásticos.

Ricce y Beraun (2022), en su tesis de pregrado titulada "Biodegradación de polietileno de baja densidad - PEBD por acción metabólica del lepidóptero *Galleria mellonella* reutilizando residuos de apicultura”, evaluaron la capacidad de biodegradación del polietileno de baja densidad (PEBD) por parte de *Galleria mellonella*. Para ello, acondicionaron un área de crianza en cajas de madera y obtuvieron las larvas de Apícola Ayni S.A.C., las cuales se dividieron en tres grupos según su dieta: dieta balanceada, cera de abeja y salvado de trigo. Una vez alcanzado el estado larval óptimo, se inició la exposición de las larvas al PEBD en condiciones controladas de laboratorio (25 °C y 83 % de humedad relativa). Los resultados indicaron que el grupo alimentado con cera de abeja (Tratamiento A1-36) logró biodegradar 283.5 mg de PEBD en 36 horas, lo que representó un 67 % del material expuesto. El estudio concluyó que la dieta de las larvas influye

significativamente en su capacidad biodegradadora, destacando la cera de abeja como el alimento más efectivo para potenciar este proceso. Estos hallazgos sugieren que el uso de *Galleria mellonella* podría representar una alternativa viable para la gestión de residuos plásticos, aunque se recomienda ampliar la investigación para evaluar su aplicación a mayor escala.

Molero (2023), en su trabajo de investigación titulada “Evaluación del consumo de polietileno de baja densidad-PEBD por larvas *Galleria mellonella* (Lepidoptera: Pyralidae) bajo condiciones térmicas controladas, Cusco- 2023”, realizada en la ciudad del Cusco, evaluó la biodegradación de polietileno de baja densidad-PEBD por larvas de *Galleria mellonella* bajo condiciones térmicas controladas empleando la metodología fue experimental cuantitativo con 160 larvas en arreglo factorial AxB. Se analizaron temperaturas de 26.3°C y 20.5°C junto con diferentes combinaciones dietéticas de polietileno de baja densidad (PEBD) puro y mezclado con cera de abeja, con el fin de evaluar su impacto en la pérdida de peso de las larvas y la degradación del área de PEBD.

La población del estudio estuvo compuesta por 80 individuos de *Galleria mellonella* y se utilizaron bolsas plásticas de polietileno de baja densidad (PEBD). La muestra del estudio consistió en 20 tiras de PEBD, cada una con dimensiones de 20 mm por 20 mm..

Las larvas mantenidas a 26.3°C presentaron una pérdida promedio de peso de 0.02667 gramos y consumieron en promedio 1.26 cm² de PEBD.

En contraste, larvas a 20.5°C perdieron en promedio 0.01681 gramos y consumieron solo 0.24 cm² de PEBD, indicando que temperatura más alta facilita mayor actividad metabólica y, por ende, mayor biodegradación de plástico. Inclusión de cera de abeja en dieta incrementó eficacia de biodegradación. Larvas con dieta de PEBD y cera de abeja a 26.3°C consumieron promedio de 1.48 cm² de plástico, mientras que aquellas a

20.5°C solo 0.10 cm². Hallazgos subrayan importancia de condiciones térmicas y dietéticas en optimización de procesos de biodegradación usando organismos vivos como agentes degradativos.

3.1.3 A Nivel Regional y Local

Tras una revisión exhaustiva en diversos repositorios académicos a nivel regional y local, no se encontraron estudios previos que aborden directamente la temática planteada ni que coincidan con las variables de investigación de este estudio. Esta ausencia de antecedentes resalta la necesidad y relevancia de la presente investigación, ya que busca aportar nuevos conocimientos en un campo aún no explorado en el ámbito regional y local.

3.2 Bases teóricas

3.2.1 Larvas de Gusano de Cera (*Galleria mellonella*)

La (*Galleria mellonella*) forma parte de la familia Pyralidae, dentro de la superfamilia Pyraloidea. Esta familia destaca por su gran número de especies, siendo una de las más numerosas dentro del orden Lepidoptera. Los miembros de esta familia son considerados microlepidópteros grandes, ubicándose en un grupo intermedio entre los micro y macrolepidópteros. Las especies de Pyralidae presentan actividad nocturna y poseen órganos timpánicos en el abdomen. En estado de reposo, sus alas se pliegan planas sobre el cuerpo. La mayoría de estas especies son fitófagas, es decir, se alimentan de plantas; sin embargo, algunas se nutren de materiales como harina, forraje o incluso cera, como es el caso de *Galleria mellonella*, entre otras especies (Lloret, 2006, p. 13).

Galleria mellonella es considerada una de las plagas de las colmenas de abejas. Se alimenta de la cera, miel y polen almacenados en los panales de colonias activas, donde excava galerías —de ahí su nombre científico *Galleria*—, pudiendo destruir completamente la colmena. Además de su impacto en la apicultura, esta especie es ampliamente utilizada en estudios de fisiología y patología de insectos. También se cría

con fines comerciales, ya que sus larvas se emplean como cebo para la pesca y como alimento para reptiles y anfibios (Lloret, 2006, p. 14). Morfología por estadio de desarrollo

La morfología de *Galleria mellonella* varía significativamente a lo largo de su ciclo de vida, presentando características distintivas en cada uno de sus estadios: huevo, larva, pupa y adulto.

En la etapa de huevo, estos presentan una forma esferoidal, con líneas onduladas intercaladas que les confieren una textura rugosa. Su tamaño varía, con una longitud media de 0,478 mm y una anchura de 0,394 mm (Kwadha, Ong'amo, Endegwa, Suresh y Raina, 2017).

Al eclosionar, las larvas miden entre 1 y 3 mm de longitud y tienen un diámetro de 0,12 a 0,15 mm. Antes de alcanzar la fase de pupación, pueden alcanzar entre 25 y 30 mm de largo y un diámetro de 5 a 7 mm, lo que refleja un notable crecimiento durante esta etapa (Kwadha et al., 2017).

La pupa de *G. mellonella* presenta un tamaño promedio de 12 a 20 mm de longitud y un diámetro de 5 a 7 mm. Las pupas femeninas suelen ser más largas que las masculinas, marcando un inicio del dimorfismo sexual observable en esta especie (Kwadha et al., 2017).

En la etapa adulta, la polilla de cera mayor exhibe un claro dimorfismo sexual. Las hembras presentan una longitud corporal de 15 a 20 mm, una envergadura alar de aproximadamente 31 mm y un peso medio de 169 mg. En comparación, los machos son más pequeños y de tonalidades más claras (Kwadha et al., 2017).

3.2.2 Dieta de *Galleria mellonella*

La polilla de la cera, *Galleria mellonella*, puede criarse exitosamente a escala industrial empleando una dieta compuesta por ingredientes relativamente accesibles.

Mohamed y Coppel (1983) lograron mantener colonias de entre 5 000 a 10 000 individuos utilizando una mezcla que incluía agua desionizada precocida, miel, glicerina, cera de abejas, colesterol, suplementos multivitamínicos (polyvisol) y cereales proteicos para bebés (Gerber's Hi-Protein). Esta combinación permitió realizar el mantenimiento y la cosecha con solo 3 a 5 horas de dedicación semanal, alcanzando un costo aproximado de entre 0,2 y 0,3 dólares por larva, excluyendo la mano de obra (Restrepo et al.2019).

Diversos estudios han evaluado el uso de diferentes fuentes de carbohidratos, particularmente tipos de miel y azúcares, para formular dietas artificiales que optimicen el desarrollo de la especie. Según Restrepo et al. (2019), la miel de abeja, la miel de panela y la panela pulverizada generaron un crecimiento similar en las larvas. Sin embargo, se observó que la inclusión de azúcar en la dieta redujo significativamente el ciclo biológico completo —de huevo a adulto— a un promedio de 59,5 días, además de implicar una reducción del 22 % en el costo de producción. En contraste, otras fuentes como la miel de purga prolongaron el ciclo hasta 104,8 días, lo que representa un rendimiento menos eficiente.

3.2.3 Biodegradación de plásticos

La biodegradación es el proceso en el cual ciertos microorganismos como bacterias, hongos y algas descomponen compuestos orgánicos. Este proceso tiene diversas aplicaciones prácticas, como la depuración de suelos y aguas contaminadas, así como en la preservación de alimentos, madera y otros productos naturales (Poznyak, 2019; Parisaca Aliaga & Rodriguez Alvarez, 2023).

La biodegradación de plásticos suele ser un proceso lento, debido a la alta resistencia de los polímeros plásticos a descomponerse. Esta resistencia se debe a características como su alto peso molecular, la solidez de los enlaces C-C y su naturaleza hidrofóbica.

El ataque enzimático provoca una erosión superficial que depende de las propiedades físicas de los polímeros. Factores como una mayor hidrofobicidad, una menor área superficial y una superficie plana dificultan la degradación de los plásticos por los microorganismos.

En consecuencia, existen diversos factores que pueden facilitar o complicar la biodegradación de los plásticos, los cuales se dividen en dos categorías: factores ambientales (abióticos como humedad, temperatura y pH, y bióticos como enzimas e hidrofobicidad), y factores relacionados con las propiedades del polímero (peso molecular, tamaño, forma, aditivos y biosurfactantes) (Campos Granados, 2021).

3.2.4 Factores que influyen en la biodegradación de plásticos

- **Temperatura:** La temperatura juega un papel fundamental en la biodegradación de plásticos, ya que afecta el crecimiento y la actividad de los microorganismos biodegradadores. Las especies bacterianas pueden tener un rango de temperatura óptimo que varía entre 28 y 55 °C, siendo las bacterias termófilas capaces de tolerar temperaturas más altas, mientras que otras, como *Pseudomonas putida*, muestran un rango óptimo de 37 °C (Acuña, 2017; Alania & Pérez, 2017).
- **Humedad Relativa:** La humedad relativa (HR o RH en inglés) indica la cantidad de vapor de agua presente en el aire (Problemas de durabilidad, implicaciones para la salud y estrategias para mitigar los riesgos Un volumen de la serie Woodhead Publishing sobre ingeniería civil y estructural Libro ,2021)
- **Tiempo:** El tiempo de exposición es crucial para que los microorganismos completen su proceso de biodegradación. Esto depende de factores como la temperatura y la humedad, pero también de las características específicas del plástico a degradar y de las condiciones del ambiente (Sha & Fariha, 2008).

3.2.5 Mecanismos de biodegradación biótica

- **Acción de enzimas:** Las enzimas secretadas por microorganismos como bacterias y hongos juegan un papel directo en la biodegradación. Estas enzimas catalizan diversas reacciones, como oxidación, reducción, hidrolisis y esterificación, fragmentando las cadenas del plástico y convirtiéndolas en productos más simples, como dióxido de carbono o metano (Acuña, 2017; Kershaw, 1998).
- **Microorganismos:** Los microorganismos, en particular las bacterias del género *Pseudomonas*, son capaces de degradar plásticos mediante procesos metabólicos y enzimáticos. Estos organismos pueden actuar de forma individual o en consorcios microbianos, descomponiendo materiales plásticos como el polietileno, y se destacan por su capacidad para adaptarse a diferentes condiciones ambientales (Bakir et al., 2014; Tokiwa, 2009).
- **Insectos:** Aunque la principal acción biodegradadora es atribuida a los microorganismos, algunos estudios sugieren que los insectos también pueden participar en la descomposición de plásticos, particularmente aquellos que actúan como detritívoros y fragmentan el material con sus actividades (González et al., 2013).

3.2.6 Biodegradación de PET por *Galleria mellonella*

La biodegradación implica la reducción del peso molecular de un polímero mediante la alteración de su estructura física o química (Ccallo et al., 2020). *Galleria mellonella*, conocida por alimentarse naturalmente de restos de panales de abejas compuestos por lípidos, ácidos grasos, ésteres, alquenos y alcanos, ha demostrado una capacidad notable para degradar el tereftalato de polietileno (PET) en relativamente poco tiempo (Wojda et al., 2020). Este hallazgo ha despertado un creciente interés en

comprender el mecanismo mediante el cual ocurre esta degradación, planteándose la interrogante de si se debe a la actividad enzimática propia de la larva o a la acción de su microbiota intestinal (Bombelli et al., 2017; Wojda et al., 2020). Aunque se ha observado que diversos microorganismos pueden biodegradar plásticos, algunos estudios indican que los insectos y sus microorganismos intestinales logran una descomposición más efectiva de ciertos polímeros, lo que resalta el potencial biotecnológico de este lepidóptero y su ecosistema intestinal (Suresh & Chandrabanda, 2019).

3.2.7 Plásticos convencionales vs. Biodegradables

Los plásticos convencionales, como el polietileno (PE), el polipropileno (PP) y el poliestireno (PS), están compuestos principalmente por polímeros sintéticos derivados del petróleo. Estos materiales destacan por su durabilidad, resistencia y bajo costo de producción, pero su persistencia en el ambiente puede extenderse durante siglos debido a su escasa capacidad para descomponerse mediante procesos naturales (Campos Granados, 2021).

En contraste, los plásticos biodegradables están diseñados para ser degradados por la acción de microorganismos presentes en el medio ambiente, como bacterias y hongos, en condiciones adecuadas de temperatura, humedad y oxígeno. Su estructura química facilita la ruptura de los enlaces poliméricos, lo que acelera su descomposición y reduce su impacto ambiental. Algunos de estos plásticos se obtienen a partir de fuentes renovables, como el ácido poliláctico (PLA) o el almidón termoplástico (TPS), mientras que otros son sintéticos pero formulados para biodegradar más fácilmente (Campos Granados, 2021).

3.2.8 Polietileno de baja densidad (LDPE)

El polietileno de baja densidad (LDPE, por sus siglas en inglés) es un polímero semicristalino conformado por unidades repetitivas de etileno, cuya estructura ramificada impide la formación de cristales compactos. Esto da como resultado un material flexible, con densidad que oscila entre 0.910 y 0.925 g/cm³ y un punto de fusión que se sitúa entre 105 y 110 °C. Se caracteriza por su aspecto translúcido y su alta resistencia frente a disolventes inorgánicos, sales y ácidos, aunque puede disolverse en solventes clorados y orgánicos a temperaturas elevadas. Además, su composición incluye ramificaciones de etilo y butilo, lo que contribuye a su baja densidad y maleabilidad (Parisaca Aliaga & Rodriguez Alvarez, 2023).

3.2.9 Poliestireno expandido (PPE)

El poliestireno expandido (PPE), también conocido como EPE por sus siglas en inglés (Expanded Polyethylene), es un material plástico espumado de estructura celular cerrada, flexible, y de baja densidad. Se caracteriza por su alta capacidad de absorción de impactos, buena resistencia térmica y química, y propiedades aislantes. Debido a estas características, el PPE se emplea ampliamente en embalajes protectores, construcción y aplicaciones industriales donde se requiere amortiguación, aislamiento o flotabilidad (Gonzales Mamani, 2021).

3.2.10 Polipropileno (PP)

El polipropileno (PP) es un polímero relativamente moderno, producido de forma masiva. Se caracteriza por ser más liviano y tener una estructura más cristalina en comparación con otros plásticos. Su temperatura de transición vítrea (T_g) se sitúa en aproximadamente -10 °C. Posee una mayor resistencia a la tracción y dureza que el polietileno, aunque su resistencia al impacto es menor. Una de sus principales limitaciones es su susceptibilidad a la degradación inducida por la luz, el calor y el

oxígeno, lo que requiere la adición de antioxidantes y estabilizadores UV para mantener su integridad, encareciendo así su producción (Condezo Beteta, 2022).

3.2.11 Propiedades físico-químicas de estos plásticos y su relación con la biodegradación

Las propiedades físico-químicas de los plásticos utilizados en esta investigación —LDPE, PPE y PP— tienen una influencia directa en su resistencia a la degradación por medios biológicos. Estos plásticos comparten características como la hidrofobicidad, la alta estabilidad química y un elevado grado de cristalinidad, lo que dificulta su descomposición por microorganismos o agentes ambientales (Ccallo Arela et al., 2021; Parisaca Aliaga & Rodriguez Alvarez, 2023). Debido a estas propiedades, la biodegradación natural de estos plásticos en condiciones normales del ambiente puede ser extremadamente lenta, requiriendo condiciones específicas o la presencia de organismos especializados para su descomposición (Condezo Beteta, 2022).

En el caso del polietileno de baja densidad (LDPE), su estructura molecular altamente ramificada reduce la cristalinidad y aumenta su flexibilidad. Sin embargo, esta misma estructura impide que las enzimas hidrolíticas penetren eficazmente, lo que limita la acción microbiana sobre su cadena polimérica. Además, la alta resistencia química del LDPE lo hace resistente a ácidos, bases y disolventes, lo que contribuye a retardar su degradación natural (Parisaca Aliaga & Rodriguez Alvarez, 2023).

Por otro lado, el polietileno expandido (PPE) presenta una estructura espumada con celdas cerradas, lo que le otorga una menor densidad y mayor superficie de exposición. Sin embargo, su composición química sigue siendo polietilénica, lo que mantiene una resistencia similar a la biodegradación. Su naturaleza hidrofóbica y el bajo grado de polaridad dificultan la absorción de agua y nutrientes, factores esenciales para

el desarrollo de microorganismos en su superficie, lo que restringe su descomposición (Gonzales Mamani, 2021).

Finalmente, el polipropileno (PP), un polímero semicristalino, se caracteriza por su alta regularidad estructural y bajo contenido de grupos funcionales, lo que lo convierte en un material altamente resistente a la acción de microorganismos. Aunque su resistencia al impacto es menor que la del polietileno, su alta resistencia química y térmica lo hace más persistente en el medio ambiente. Además, suele ser reforzado con aditivos como antioxidantes y estabilizadores UV, lo que incrementa su durabilidad y, a su vez, dificulta aún más su biodegradación (Condezo Beteta, 2022).

En conjunto, estas propiedades físico-químicas hacen que los plásticos investigados (LDPE, PPE y PP) se degraden muy lentamente en condiciones ambientales normales, con tiempos de degradación que pueden superar los 100 años, a menos que se expongan a agentes específicos, como microorganismos adaptados, o a condiciones extremas de temperatura y humedad (Ccallo Arela et al., 2021; Condezo Beteta, 2022; Parisaca Aliaga & Rodriguez Alvarez, 2023).

3.3 Definición de términos

3.3.1 Larvas

Que hace referencia a las fases juveniles e inmaduras de insectos y otros animales que experimentan una metamorfosis completa, como mariposas, polillas, escarabajos y moscas. Estas larvas generalmente tienen una apariencia diferente a la de la forma adulta y suelen exhibir distintos hábitos alimentarios y funciones ecológicas. Normalmente, pasan por una serie de mudas a medida que crecen y se desarrollan hasta alcanzar su forma adulta. El estudio de las larvas es crucial en disciplinas como la entomología y la ecología, ya que contribuye a comprender los ciclos de vida de los insectos y la dinámica de las poblaciones (Losey Scriber ,2007).

3.3.2 *Galleria Mellonella*

También conocida como la polilla de la cera o gusano de la miel, es una especie de mariposa que se utiliza extensamente en investigaciones científicas, especialmente en microbiología e inmunología. Esto se debe a su capacidad para digerir una amplia gama de nutrientes y a su sistema inmunológico relativamente simple. Los científicos a menudo emplean las larvas de *Galleria Mellonella* para estudiar la agresividad de microorganismos patógenos y para evaluar la efectividad de nuevos tratamientos antimicrobianos. Además, criar estas larvas en laboratorio es sencillo, lo que las convierte en una alternativa ética y económica a otros modelos animales más complejos, como los mamíferos (Halstead ,1987).

3.3.3 *Crianza*

(González ,2009) Crianza se refiere al proceso de cuidado y educación que se proporciona a los niños durante su desarrollo, tanto por parte de sus padres, tutores u otros cuidadores.

3.3.4 *Técnica*

(Real Academia Española ,2023) La técnica se define como un conjunto de destrezas, tácticas o procesos particulares empleados con el fin de alcanzar un objetivo específico de manera eficaz y eficiente.

3.3.5 *Capacidad*

(Real Academia Española ,2023) Se define como la habilidad o aptitud que una persona tiene para ejecutar acciones particulares, completar tareas específicas o afrontar situaciones de manera eficaz.

3.3.6 Biodegradación

(OECD, 2002) La biodegradación implica la descomposición de sustancias orgánicas por microorganismos, especialmente bacterias que requieren oxígeno, en productos más básicos como el dióxido de carbono, el agua y el amoníaco.

3.3.7 Degradación

(Companies, 2019) Pérdida de las características originales, o debilitamiento de un elemento por erosión; una desintegración de la pintura por calor, humedad, luz solar o desgaste natural.

3.3.8 Glicol

(ENCICLOPEDIA DE SALUD Y SEGURIDAD EN EL TRABAJO, 2020)El "glicol" es una clase de compuestos químicos que pertenecen al grupo de los alcoholes. Uno de los glicoles más conocidos es el etilenglicol, que se utiliza principalmente como anticongelante en automóviles y como disolvente en la industria química.

3.3.9 Bacillus sp

Logan, N. A., & Vos, (2015) Se emplea "Bacillus sp." como una abreviatura para hacer referencia a una variedad de especies bacterianas pertenecientes al género Bacillus Tienen la capacidad de formar endosporas cuando las condiciones ambientales son desfavorables. Estas endosporas son altamente resistentes al calor, radiación, desecación y agentes químicos.

3.3.10 Microbiota de insectos

El microbiota intestinal en insectos cumple funciones esenciales para su biología, influyendo en su desarrollo, longevidad, fecundidad y comportamiento. Estos microorganismos contribuyen al suministro de nutrientes, facilitan la digestión y participan activamente en la regulación inmunológica y procesos de desintoxicación (Fraune & Bosch, 2010; Janson et al., 2008; Hansen & Moran, 2014; He et al., 2022).

3.3.11 *Endobacter asburiae*

Endobacter asburiae es una bacteria perteneciente al género *Endobacter*, que se encuentra en el suelo y en entornos acuáticos. Es una especie gramnegativa que puede ser relevante en aplicaciones agrícolas, ya que algunas cepas han demostrado tener la capacidad de fijar nitrógeno, lo que puede ser beneficioso para el crecimiento de las plantas. Además, se ha encontrado en asociación con plantas en procesos de biorremediación, ayudando en la descomposición de compuestos orgánicos (Hardoim, Overbeek, & van Elsas, 2008).

3.3.12 *Plástico*

(Geyer , Jambeck & Law, 2017) El término "plástico" se refiere a un material sintético polimérico que puede moldearse y darle forma a través de procesos de fabricación.

3.3.13 *Polietileno*

(Geyer , Jambeck & Law, 2017) El "polietileno" es un tipo de plástico ampliamente utilizado en diversas aplicaciones debido a su versatilidad y bajo costo.

3.3.14 *Polietileno de baja densidad*

(Geyer , Jambeck & Law, 2017) El "polietileno de baja densidad" (LDPE, por sus siglas en inglés) es un tipo de polietileno caracterizado por tener una estructura molecular ramificada y una densidad relativamente baja.

IV. Metodología

4.1. Tipo y nivel de investigación

La investigación es de tipo aplicada, ya que busca dar solución a un problema ambiental concreto: la contaminación por residuos plásticos. Se orienta a la aplicación de conocimientos científicos para abordar dicha problemática mediante la utilización de larvas del gusano de cera (*Galleria mellonella*) como un agente potencial de biodegradación en condiciones controladas de laboratorio. Según Hernández et al. (2014), la investigación aplicada se caracteriza por su interés en la solución de problemas específicos mediante la aplicación de conocimientos científicos y tecnológicos.

El estudio no solo buscó generar conocimiento, sino aplicarlo para enfrentar un problema real: la acumulación de plásticos en el ambiente. La finalidad fue ofrecer una alternativa práctica y sostenible que pueda ser replicable a mayor escala.

Debido a que se pretendió comprobar si las larvas de *Galleria mellonella* pueden biodegradar plásticos bajo diferentes condiciones, el diseño experimental es el más adecuado para evaluar el impacto de cada variable manipulada.

El enfoque de la investigación es cuantitativo, ya que se recopilaron datos numéricos sobre el porcentaje de biodegradación de cada tipo de plástico, para luego ser analizados estadísticamente. Este enfoque permite una evaluación objetiva, confiable y replicable de los resultados, lo cual es esencial en estudios de tipo experimental. Según Hernández et al. (2014), el enfoque cuantitativo se centra en la recolección y análisis de datos medibles para probar hipótesis.

El análisis numérico del peso de los plásticos antes y después de la exposición permitió comprobar con exactitud la eficacia del proceso de biodegradación, evitando interpretaciones subjetivas.

El método de investigación es el científico-experimental, el cual se basa en la observación, formulación de hipótesis, manipulación controlada de variables y análisis de resultados. Este método es esencial para validar los efectos de las condiciones experimentales sobre el fenómeno estudiado. Según Tamayo y Tamayo (2015), el método científico busca obtener conocimientos mediante la experimentación y verificación de hipótesis.

Este método permitió comprobar con rigurosidad científica si las larvas de *Galleria mellonella* son capaces de degradar diferentes tipos de plásticos en un entorno de laboratorio.

El diseño de investigación es cuasi-experimental, ya que se aplicaron tratamientos a distintos grupos con la combinación de factores como el tipo de plástico, tipo de dieta y tiempo de exposición. Este tipo de diseño es adecuado cuando se pretende analizar el efecto individual y combinado de múltiples variables. Chávez Mestanza y Lizana Nicolás (2022) utilizaron un diseño similar en una investigación sobre biodegradación de plásticos con larvas, obteniendo resultados relevantes.

Este diseño facilita un análisis más profundo sobre cómo se combinan las variables en la biodegradación, permitiendo obtener conclusiones válidas que consideren interacciones complejas entre factores.

4.2. Ámbito temporal y espacial

- **Temporal:**

La investigación se llevó a cabo desde octubre de 2023 hasta agosto del 2024, periodo durante el cual se realizaron las fases de planificación, recolección de muestras, ejecución experimental y análisis de resultados.

- **Espacial:**

El presente estudio se desarrolló en el laboratorio de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Recursos Naturales de la Universidad Tecnológica de los Andes – Abancay, el cual cuenta con condiciones controladas necesarias para la experimentación, como temperatura, humedad y ventilación, esenciales para evaluar la biodegradación mediante larvas de *Galleria mellonella*.

4.3. Población y muestra

- **Población:**

La población de este estudio estuvo compuesta por residuos plásticos post-consumo, específicamente polietileno de baja densidad, poliestireno expandido y polipropileno, con un total de 500 gramos que constituyeron la población total del análisis. Estos datos fueron obtenidos del programa de promotores ambientales 2022 y recolectados de los contenedores de basura de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Recursos Naturales de la Universidad Tecnológica de los Andes.

- **Muestra:**

Se eligió una muestra no probabilística para el estudio. Se trabajó con un total de 21 gramos, divididos en partes iguales de 7 gramos cada una de polietileno de baja densidad, poliestireno expandido y polipropileno. Estos materiales fueron fragmentados en porciones iguales y esterilizados previamente para evitar la contaminación microbiana externa. La distribución experimental fue intencional, basada en los antecedentes de la investigación, y se organizó según el tipo de plástico, la dieta y el tiempo de exposición, lo que permitió realizar comparaciones sistemáticas con repeticiones suficientes para un análisis estadístico adecuado.

4.4 Instrumentos

En este estudio se empleó la técnica de observación experimental de laboratorio, que consistió en el registro sistemático, válido y confiable de comportamientos y situaciones observables (Hernández Sampieri et al., 2014).

Se utilizó una ficha de registro como instrumento principal. Este formato, diseñado específicamente para el presente trabajo, permitió anotar de manera ordenada los datos obtenidos durante la exposición de los plásticos a las larvas de *Galleria mellonella*, bajo diferentes condiciones de dieta y tiempo. Asimismo, se recurrió al uso de materiales y equipos complementarios que facilitaron el adecuado desarrollo del experimento.

- **Instrumentos utilizados en la investigación:**

- Fichas de registro de datos experimentales
- Libreta de campo
- Hojas de observación
- Cronómetro
- Software Microsoft Excel
- Software SPSS.25

- **Materiales:**

- Placas Petri (30 unidades)
- Cinta de carpintero
- Papel filtro
- Etiquetas adhesivas
- Papel toalla
- Bolsas herméticas

- **Insumos:**

- Dieta para larvas: maíz (¼ kg), afrecho (¼ kg), avena (¼ kg), avena con miel (¼ kg), comida para gato (¼ kg)

- Polietileno de baja densidad (6.570 kg)
- Polietileno expandido (6.882 kg)
- Polipropileno (6.722 kg)
- **Equipos:**
 - Balanza analítica
 - Termohigrómetro digital
 - Cámara fotográfica para registro visual

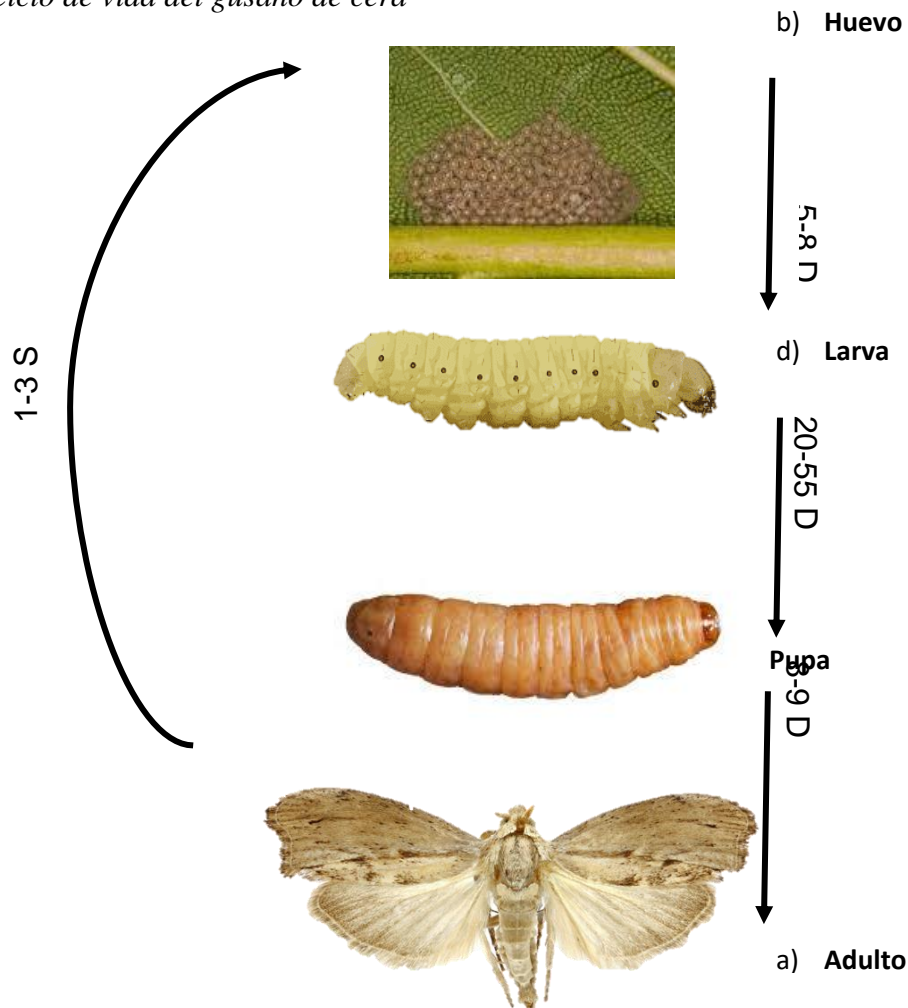
4.5. Procedimientos

El procedimiento experimental se llevó a cabo en el laboratorio de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Recursos Naturales de la Universidad Tecnológica de los Andes, en un entorno controlado, donde se desarrollaron las siguientes etapas:

4.5.1 Crianza de *Galleria Mellonella*

La crianza de las larvas de gusano de cera (*Galleria mellonella*) se realizó tomando como base el estudio de Rodríguez (2015), quien describe el ciclo biológico de esta especie bajo condiciones de laboratorio. Adicionalmente, se consideraron las observaciones de Neira (2006), quien indica que dicho ciclo puede variar entre 30 y 60 días, dependiendo de la temperatura, siendo óptimas aquellas entre 26 °C y 38 °C. En condiciones de menor temperatura, el ciclo puede extenderse hasta cinco meses.

Para este estudio, el ciclo reproductivo se observó desde la etapa de huevo hasta la formación de larvas, alcanzando esta fase en un periodo de 8 días. Las larvas fueron alimentadas con cinco dietas diferentes: maíz, afrecho, avena, avena con miel y comida para gato, en proporciones de ¼ de kilo para cada tipo de dieta. Este proceso aseguró el desarrollo adecuado de las larvas para su uso en las pruebas experimentales

Figura. 1.*Ciclo de vida del gusano de cera*

Nota. En la imagen muestra el ciclo de vida del gusano de cera.

Neira (2006) señala que la duración del ciclo de *G. mellonella* cambia según la temperatura ambiental, pudiendo durar entre 30 y 60 días cuando las temperaturas son óptimas, situándose entre 26 °C y 38 °C, y prolongarse hasta 5 meses bajo condiciones más frías. El ciclo incluye las etapas de huevo, larva, pupa y adulto.

La crianza de los gusanos de cera se tomó desde la obtención de los huevos hasta que llegaron a la etapa de larva, esta misma tardó 8 días.

La dieta utilizada para la crianza de las larvas fue: maíz $\frac{1}{4}$ de kilo, afrecho $\frac{1}{4}$ de kilo, avena $\frac{1}{4}$ de kilo, avena con miel $\frac{1}{4}$ de kilo y comida de gato $\frac{1}{4}$ de kilo.

4.5.2 *Recolección de plásticos y selección de plástico*

Los residuos plásticos empleados en la investigación fueron recolectados en los pasillos y áreas comunes de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Recursos Naturales. Posteriormente, se clasificaron según su tipo: polietileno de baja densidad, polietileno expandido y polipropileno. Esta caracterización fue importante para evaluar el comportamiento diferencial de cada tipo de plástico frente a la acción degradadora de las larvas.

Figura. 2

Recolección de plásticos de los contenedores de la E. P de Ingeniería Ambiental



Nota. Fotografía muestra la recolección de plásticos de la E.P de Ingeniería Ambiental.

Figura. 3

Tachos diferenciados de residuos sólidos según la Norma Técnica Peruana NTP 900.058:2019 de la E.P de Ingeniería Ambiental, UTEA



Nota. Fotografía tomada durante la recolección de los plásticos.

4.5.3 Preparación del experimento

Se utilizaron 30 placas Petri, distribuyendo en cada una 10 unidad de larvas previamente alimentadas según su dieta asignada. Cada placa contenía también un tipo de plástico correspondiente, previamente pesado. El peso inicial fue registrado mediante balanza analítica, considerando el peso conjunto del plástico y las larvas en cada placa. De esta forma, se aseguraron las condiciones necesarias para el inicio del proceso de biodegradación.

Figura. 4

Polietileno de baja densidad con la dieta de avena y 10 gusanos de cera



Nota: Fotografía tomada en durante la prueba gravimétrica del polietileno de baja densidad en el laboratorio de suelo, agua y aire de la E.P de Ingeniería Ambiental, UTEA.

Figura. 5

Polietileno expandido con la dieta de avena con 10 gusanos de cera



Nota. Fotografía tomada en durante la prueba gravimétrica en el laboratorio de suelo, agua y aire de la E.P de Ingeniería Ambiental, UTEA.

Figura. 6

Polipropileno con la dieta de comida de gato con 10 gusanos de cera



Nota: Fotografía tomada en durante la prueba microscópicas en el laboratorio de suelo, agua y aire de la E.P de Ingeniería Ambiental, UTEA.

4.5.4 Peso final de las Larvas y el Plástico

Durante el experimento, se monitoreó diariamente el comportamiento de las larvas y la condición de los plásticos. Para ello, se emplearon fichas de registro, una libreta de campo y controles ambientales mediante termohigrómetro. Tras el periodo de exposición, se realizó una evaluación final a través de pruebas gravimétricas y observaciones microscópicas, lo que permitió determinar la variación de peso del plástico y de las larvas. Estas mediciones fueron registradas con precisión para el posterior análisis comparativo de los tratamientos.

Figura. 7

Polietileno de baja densidad biodegradado por los gusanos de cera luego del experimento



Nota. Fotografía tomada en durante la prueba microscópicas en el laboratorio de suelo, agua y aire de la E.P de Ingeniería Ambiental, UTEA.

4.6. Análisis de datos

Los datos fueron analizados empleando un diseño experimental completamente al azar (DCA). Para comprobar la normalidad de los datos, se aplicó la prueba de Shapiro-Wilk, lo que permitió confirmar si los residuos tenían una distribución normal. Luego, se llevó a cabo un análisis de varianza (ANOVA) de tres factores para evaluar cómo influían el tipo de plástico, la dieta de las larvas y el tiempo de exposición en la biodegradación del plástico. Las diferencias entre los grupos se determinaron mediante el método de comparaciones múltiples de Tukey. Todo el procesamiento de datos se realizó con el software SPSS versión 25, apoyándose también en las tablas t de Student para la comparación de medias.

4.7. Consideraciones éticas

En la presente investigación se tuvo en cuenta el principio de bienestar animal, asegurando un trato ético y responsable hacia los organismos vivos utilizados. Las larvas de *Galleria mellonella* fueron manipuladas bajo condiciones controladas y seguras durante el desarrollo experimental. Una vez concluidos los procedimientos, se procedió a la liberación de los especímenes, evitando cualquier forma de sufrimiento innecesario, en concordancia con los principios bioéticos aplicables en investigaciones con seres vivos.

V. Resultados y discusión

5.1 Resultados

A continuación, se exponen los resultados de la investigación, organizados conforme al objetivo general y a los objetivos específicos establecidos.

5.1.1 Análisis de la capacidad de biodegradación de plásticos

Se evaluó la capacidad de biodegradación de tres tipos de plásticos (polietileno de baja densidad, polietileno expandido y polipropileno) mediante la exposición de larvas de *Galleria mellonella* alimentadas con cinco tipos distintos de dieta: maíz, afrecho, avena, avena con miel y comida de gato.

Las pruebas se realizaron con 10 larvas por tratamiento, con dos repeticiones para cada combinación de dieta y tipo de plástico, en un periodo de 5 días. Se registró el peso inicial (P0) y el peso final (PF) del plástico tras la exposición, y se calculó la capacidad de biodegradación como la diferencia entre ambos.

Tabla 2

Datos del porcentaje de plástico biodegradado

NP	UND	DIETA DE LAS LARVAS	TIPO DE PLASTICO	P0 (P0)g	PF (PF)g	CAPACIDAD DE BIODEGRADACION
1	10	Maíz	Polietileno de baja densidad	0.790	0.780	0.010
1	10	Afrecho	Polietileno de baja densidad	0.635	0.628	0.007
1	10	Avena	Polietileno de baja densidad	0.600	0.593	0.007
1	10	Avena con miel	Polietileno de baja densidad	0.700	0.688	0.012
1	10	Comida de gato	Polietileno de baja densidad	0.560	0.546	0.014
2	10	Maíz	Polietileno de baja densidad	0.790	0.777	0.013
2	10	Afrecho	Polietileno de baja densidad	0.635	0.627	0.008
2	10	Avena	Polietileno de baja densidad	0.600	0.589	0.011
2	10	Avena con miel	Polietileno de baja densidad	0.700	0.693	0.007
2	10	Comida de gato	Polietileno de baja densidad	0.560	0.554	0.006

1	10	Maíz	Polietileno expandido	0.497	0.484	0.013
1	10	Afrecho	Polietileno expandido	0.755	0.731	0.024
1	10	Avena	Polietileno expandido	0.625	0.600	0.025
1	10	Avena con miel	Polietileno expandido	0.614	0.600	0.014
1	10	Comida de gato	Polietileno expandido	0.630	0.607	0.023
2	10	Maíz	Polietileno expandido	0.497	0.484	0.013
2	10	Afrecho	Polietileno expandido	0.755	0.731	0.024
2	10	Avena	Polietileno expandido	0.625	0.602	0.023
2	10	Avena con miel	Polietileno expandido	0.628	0.612	0.016
2	10	Comida de gato	Polietileno expandido	0.630	0.605	0.025
1	10	Maíz	Polipropileno	0.701	0.692	0.009
1	10	Afrecho	Polipropileno	0.680	0.673	0.007
1	10	Avena	Polipropileno	0.588	0.585	0.003
1	10	Avena con miel	Polipropileno	0.705	0.699	0.006
1	10	Comida de gato	Polipropileno	0.687	0.681	0.006
2	10	Maíz	Polipropileno	0.701	0.693	0.008
2	10	Afrecho	Polipropileno	0.680	0.676	0.004
2	10	Avena	Polipropileno	0.588	0.583	0.005
2	10	Avena con miel	Polipropileno	0.705	0.701	0.004
2	10	Comida de gato	Polipropileno	0.687	0.681	0.006

Nota. En la tabla 3 se presentan los resultados de los ensayos realizados para evaluar la capacidad de biodegradación de plásticos por larvas de *Galleria mellonella*.

Se evidencia que la mayor reducción de masa se obtuvo en el polietileno expandido (EPS), particularmente con las dietas de avena y comida de gato (hasta 0,025 g). En contraste, el polipropileno (PP) mostró los valores más bajos de degradación, sin superar los 0,009 g. Estos datos sugieren que tanto el tipo de plástico como la dieta influyen en la eficiencia del proceso biodegradativo. Se concluye que existe una interacción significativa entre el tipo de material plástico y la nutrición larval que puede ser determinante en la aplicación biotecnológica de este insecto.

5.1.2 Análisis de la capacidad de biodegradación de plásticos según el tipo de plástico

Se evaluó la capacidad de biodegradación de tres tipos de plásticos: polietileno de baja densidad (PEBD), polietileno expandido (PEE) y polipropileno (PP), al ser expuestos a larvas de *Galleria mellonella* durante un periodo de 5 días. Para cada tipo de plástico,

se realizaron dos repeticiones de pruebas, y la capacidad de biodegradación se determinó mediante el cálculo de la diferencia en el peso de las larvas al final del experimento.

Tabla 3

Capacidad de biodegradación de plásticos por Galleria mellonella según tipo de plástico

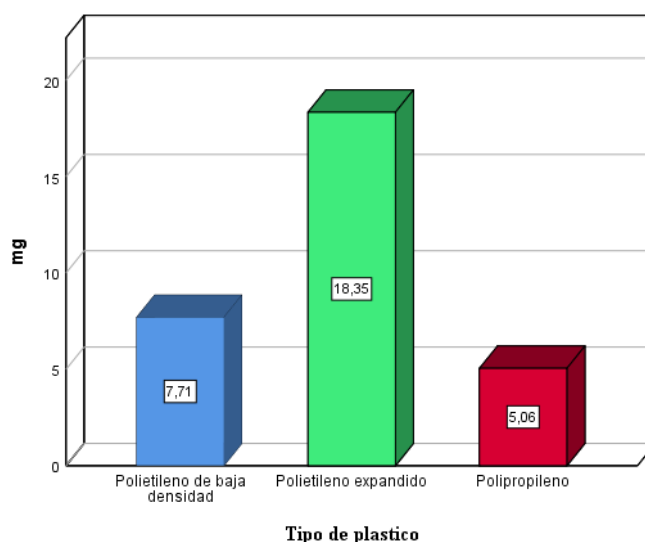
N°	PESO DE LARVA	UND	TIPO PLASTICO	PESO BIODEGRADADO
1	0.223g	10	Polietileno de baja densidad	0.010
1	0.330g	10	Polietileno de baja densidad	0.007
1	0.294g	10	Polietileno de baja densidad	0.007
1	0.302g	10	Polietileno de baja densidad	0.012
1	0.271g	10	Polietileno de baja densidad	0.014
2	0.243g	10	Polietileno de baja densidad	0.013
2	0.320g	10	Polietileno de baja densidad	0.008
2	0.284g	10	Polietileno de baja densidad	0.011
2	0.312g	10	Polietileno de baja densidad	0.007
2	0.2731g	10	Polietileno de baja densidad	0.006
1	0.226g	10	Poliestireno expandido	0.013
1	0.338g	10	Poliestireno expandido	0.024
1	0.300g	10	Poliestireno expandido	0.025
1	0.280g	10	Poliestireno expandido	0.014
1	0.251g	10	Poliestireno expandido	0.023
2	0.223g	10	Poliestireno expandido	0.013
2	0.334g	10	Poliestireno expandido	0.024
2	0.301g	10	Poliestireno expandido	0.023
2	0.282g	10	Poliestireno expandido	0.016
2	0.253g	10	Poliestireno expandido	0.025
1	0.355g	10	Polipropileno	0.009
1	0.350g	10	Polipropileno	0.007
1	0.290g	10	Polipropileno	0.003
1	0.299g	10	Polipropileno	0.006
1	0.300g	10	Polipropileno	0.006
2	0.355g	10	Polipropileno	0.008
2	0.350g	10	Polipropileno	0.004
2	0.290g	10	Polipropileno	0.005
2	0.299g	10	Polipropileno	0.004
2	0.300g	10	Polipropileno	0.006

Nota. En la tabla 4 se presentan los resultados obtenidos durante los ensayos para evaluar la capacidad de biodegradación de los plásticos por las larvas de *Galleria mellonella*.

Los resultados muestran que el polietileno expandido (PEE) mostró una mayor capacidad de biodegradación con un máximo de 0.025 g, especialmente en las repeticiones 1 y 2. Por otro lado, el polipropileno (PP) presentó la menor capacidad de biodegradación, con un rango entre 0.003 y 0.009 g. Estos resultados sugieren que el tipo de plástico tiene una influencia significativa sobre la capacidad de biodegradación, siendo el polietileno expandido el más degradado por las larvas, mientras que el polipropileno resulta ser el más resistente a la biodegradación en este experimento.

Figura. 8

Cantidad promedio de plástico biodegradado (mg) según tipo de plástico.



Nota. La gráfica representa las medias del plástico biodegradado (mg) por las larvas de *Galleria mellonella*

Durante un periodo de 5 días, diferenciando entre tres tipos de polímeros: polietileno de baja densidad (7,71 mg), polietileno expandido (18,35 mg) y polipropileno (5,06 mg). Se evidencia que el polietileno expandido fue el material con mayor nivel de biodegradación, seguido por el polietileno de baja densidad y finalmente el polipropileno.

5.1.3 Evaluación del efecto de las dietas en la biodegradación de plásticos

Se evaluó el efecto de cinco dietas diferentes sobre la capacidad de biodegradación de tres tipos de plásticos (polietileno de baja densidad [LDPE], polietileno expandido

[EPS] y polipropileno [PP]) mediante la exposición de larvas de *Galleria mellonella* durante un periodo de 5 días. Las dietas consideradas fueron: maíz, afrecho, avena, avena con miel y comida de gato.

Para cada combinación de dieta y tipo de plástico se realizaron dos repeticiones con 10 larvas en cada ensayo. A continuación, se presentan los resultados obtenidos en cuanto a la capacidad de biodegradación de los plásticos, medidos en términos de reducción de peso durante el periodo de exposición.

Tabla 4

*Capacidad de biodegradación de plásticos por *Galleria mellonella* según tipo de plástico y dieta*

NºP	PESO DE LARVA	UND	DIETA	PESO DE DIETA	TIPO PLASTICO	PESO BIODEGRADADO
1	0.223g	10	Maíz	0.038g	polietileno de baja densidad	0.010
1	0.330g	10	Afrecho	0.026g	polietileno de baja densidad	0.007
1	0.294g	10	Avena	0.027g	polietileno de baja densidad	0.007
1	0.302g	10	Avena con miel	0.020g	polietileno de baja densidad	0.012
1	0.271g	10	Comida de gato	0.086g	polietileno de baja densidad	0.014
2	0.243g	10	Maíz	0.038g	polietileno de baja densidad	0.013
2	0.320g	10	Afrecho	0.026g	polietileno de baja densidad	0.008
2	0.284g	10	Avena	0.027g	polietileno de baja densidad	0.011
2	0.312g	10	Avena con miel	0.020g	polietileno de baja densidad	0.007
2	0.2731g	10	Comida de gato	0.086g	polietileno de baja densidad	0.006
1	0.226g	10	Maíz	0.048g	Poliestireno expandido	0.013
1	0.338g	10	Afrecho	0.036g	Poliestireno expandido	0.024
1	0.300g	10	Avena	0.037g	Poliestireno expandido	0.025
1	0.280g	10	Avena con miel	0.030g	Poliestireno expandido	0.014
1	0.251g	10	Comida de gato	0.056g	Poliestireno expandido	0.023
2	0.223g	10	Maíz	0.048g	Poliestireno expandido	0.013
2	0.334g	10	Afrecho	0.036g	Poliestireno expandido	0.024
2	0.301g	10	Avena	0.037g	Poliestireno expandido	0.023
2	0.282g	10	Avena con miel	0.030g	Poliestireno expandido	0.016
2	0.253g	10	Comida de gato	0.056g	Poliestireno expandido	0.025
1	0.355g	10	Maíz	0.038g	Poliestireno	0.009
1	0.350g	10	Afrecho	0.026g	Polipropileno	0.007

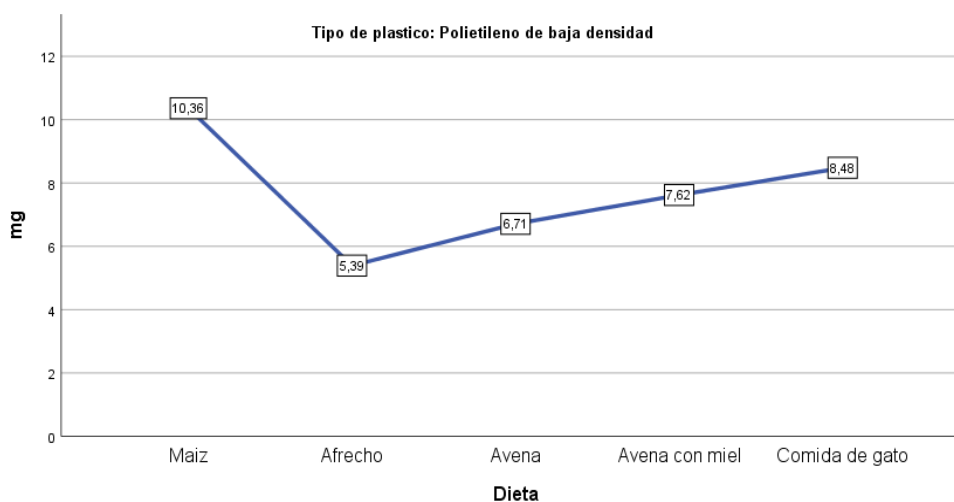
1	0.290g	10	Avena	0.027g	Polipropileno	0.003
1	0.299g	10	Avena con miel	0.020g	Polipropileno	0.006
1	0.300g	10	Comida de gato	0.086g	Polipropileno	0.006
2	0.355g	10	Maíz	0.038g	Polipropileno	0.008
2	0.350g	10	Afrecho	0.026g	Polipropileno	0.004
2	0.290g	10	Avena	0.027g	Polipropileno	0.005
2	0.299g	10	Avena con miel	0.020g	Polipropileno	0.004
2	0.300g	10	Comida de gato	0.086g	Polipropileno	0.006

Nota. La tabla 4 muestra los resultados obtenidos en los ensayos de biodegradación de plásticos por larvas de *Galleria mellonella*, analizando el impacto de diversas dietas.

Se observa que la mayor capacidad de biodegradación se registra en los plásticos de poliestireno expandido, con una reducción de hasta 0.025 g en la dieta de avena. En contraste, los plásticos de polipropileno mostraron los menores valores de biodegradación, sin superar los 0.009 g, independientemente de la dieta utilizada. El polietileno de baja densidad mostraron una capacidad de biodegradación intermedia, destacándose la dieta de comida de gato con una reducción de 0.014 g. Estos resultados sugieren que tanto el tipo de plástico como la dieta tienen un efecto significativo sobre la eficiencia del proceso de biodegradación. Los datos indican que las larvas de *Galleria mellonella* tienen una mayor capacidad para biodegradar plásticos como el poliestireno expandido, mientras que la biodegradación del polipropileno es limitada, lo que podría estar relacionado con la estructura química de los plásticos y su interacción con las enzimas presentes en el sistema digestivo de las larvas. Además, las dietas más nutritivas, como la comida de gato y la avena con miel, parecen favorecer un mayor proceso de biodegradación, lo que podría explicarse por la mayor energía disponible para las larvas.

Tabla 5*Datos de Polietileno de baja densidad biodegradado*

a	Tipo de plástico				
	Polietileno de baja densidad				
	Dieta				
	Maíz	Afrecho	Avena	Avena con miel	Comida de gato
	Media	Media	Media	Media	Media
Plástico biodegradado(mg)	10.36	5.39	6.71	7.62	8.48

a. Tipo de plástico = Polietileno de baja densidad*Nota.* Datos procesados por el software SPSS.25**Figura. 9***Cantidad de polietileno de baja densidad biodegradado (mg) por Galleria mellonella según dieta suministrada**Nota.* Análisis de datos de laboratorio procesado por el software SPSS.25.

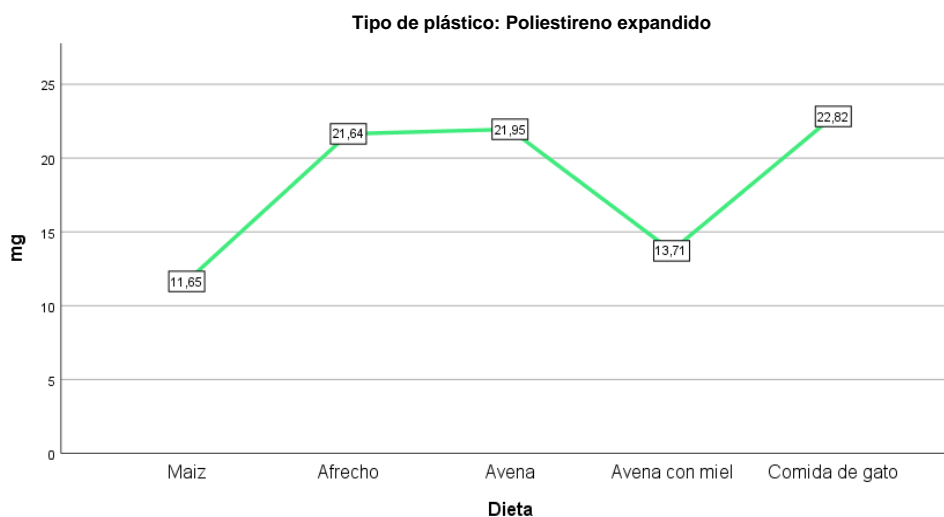
Se observa que la dieta a base de maíz generó el mayor nivel de biodegradación del polietileno de baja densidad (10,36 mg), mientras que el afrecho presentó el menor (5,39 mg). Esto sugiere que la calidad y tipo de alimento influye en la capacidad de biodegradación de las larvas. La tendencia creciente entre avena, avena con miel y comida de gato también indica posibles efectos diferenciados de la composición nutricional.

Tabla 6*Datos de Polietileno de baja densidad biodegradado*

b	Tipo de plástico				
	Poliestireno expandido				
	Dieta				
	Maíz	Afrecho	Avena	Avena con miel	Comida de gato
	Media	Media	Media	Media	Media
Plástico biodegradado(mg)	11.65	21.64	21.95	13.71	22.82

a. Tipo de plástico = Poliestireno expandido

Nota: Datos procesados por el software SPSS.25

Figura. 10*Cantidad de poliestireno expandido biodegradado (mg) por Galleria mellonella según dieta suministrada*

Nota. Análisis de datos de laboratorio procesado por el software SPSS.25.

En la Figura 10, se muestra la biodegradación del poliestireno expandido por medio de los gusanos de cera durante los 5 días, siendo la dieta de la comida de gato quien mostro los resultados más favorables de 22.82 mg y la dieta del maíz mostro los resultados más bajos con un resultado de 11.65 mg de poliestireno expandido biodegradado.

Tabla 7*Datos de Polipropileno biodegradado*

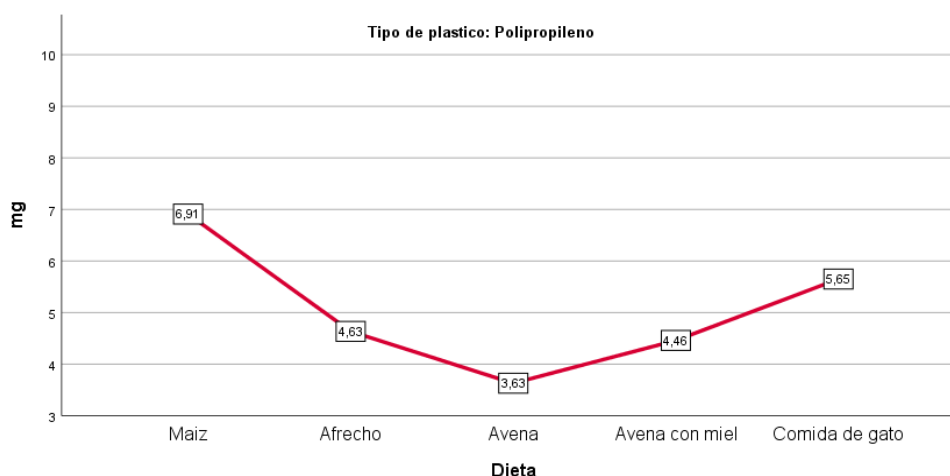
b	Tipo de plástico				
	Polipropileno				
	Dieta				
	Maíz	Afrecho	Avena	Avena con miel	Comida de gato
	Media	Media	Media	Media	Media
Plástico biodegradado(mg)	6.91	4.63	3.63	4.46	5.65

a. Tipo de plástico = Polipropileno

Nota. Datos procesados por el software SPSS.25

Figura. 11

Cantidad de polipropileno biodegradado (mg) por Galleria mellonella según dieta suministrada



Nota. Análisis de datos de laboratorio procesado por el software SPSS.25

En la Figura 11, muestra la biodegradación del polipropileno por medio de los gusanos de cera durante los 5 días, siendo la dieta del maíz de gato quien mostro los resultados más favorables de 6.91 mg y la dieta de la avena mostro los resultados más bajos con un resultado de 3.63 mg de polipropileno biodegradado.

5.1.4 Análisis de la capacidad de biodegradación de plásticos durante diferentes periodos de exposición

Se evaluó la capacidad de biodegradación de tres tipos de plásticos: polietileno de baja densidad (LDPE), poliestireno expandido (EPS) y polipropileno (PP), utilizando larvas de *Galleria mellonella*. Los ensayos se realizaron con cinco tipos de dieta: maíz, avena, avena con miel, comida de gato y afrecho. Los tratamientos se expusieron a plásticos durante 12, 24, 36, 48, 60, 72, 84, 96, 108 y 120 horas, con una duración total de 5 días. En cada prueba, se registraron las cantidades de plástico biodegradado en cada intervalo de tiempo.

Tabla 8

Capacidad de biodegradación de plásticos por Galleria mellonella según tiempo de exposición (horas)

N° DE REPETICIÓN DE PRUEBA	DIETA DE LAS LARVAS	TIPO DE PLÁSTICO	CAPACIDAD HORAS (5 DÍAS)	12 h	24 h	36 h	48 h	60 h	72 h	84 h	96 h	108 h	120 h	
				Miligramos	Miligramos	Miligramos	Miligramos	Miligramos	Miligramos	Miligramos	Miligramos	Miligramos	Miligramos	Miligramos
1	Maíz	Polietileno de baja densidad	0.01	6.00	7.00	8.00	8.00	9.00	9.00	11.00	9.50	10.00	10.20	
	Afrecho	Polietileno de baja densidad	0.01	1.00	2.00	3.50	4.00	4.20	5.10	5.20	6.30	6.40	7.00	
	Avena	Polietileno de baja densidad	0.01	0.50	1.00	2.50	3.50	4.00	5.00	5.00	6.00	6.30	6.80	
	Avena con miel	Polietileno de baja densidad	0.01	7.20	8.00	8.50	8.60	9.00	10.00	11.20	11.20	12.00	12.00	
	Comida de gato	Polietileno de baja densidad	0.01	6.00	10.00	10.80	11.00	11.20	11.90	13.00	13.20	13.50	14.00	
2	Maíz	Polietileno de baja densidad	0.01	7.40	10.00	10.60	10.90	10.90	12.20	12.90	13.20	13.00	13.00	
	Afrecho	Polietileno de baja densidad	0.01	4.00	5.00	5.60	6.00	6.30	6.50	7.00	7.20	7.50	8.00	
	Avena	Polietileno de baja densidad	0.01	6.00	8.00	8.50	8.90	9.20	10.00	10.20	10.60	11.00	11.20	
	Avena con miel	Polietileno de baja densidad	0.01	1.00	3.00	5.00	6.00	6.00	6.20	6.30	7.00	7.00	7.00	

	Comida de gato	Poliétileno de baja densidad	0.0 1	2.20	2.00	3.00	3.10	4.00	4.80	8.00	5.20	5.60	5.90
1	Maíz	Poliestireno expandido	0.0 1	0.80	10.70	11.00	11.60	12.00	12.00	12.30	12.60	13.00	13.00
	Afrecho	Poliestireno expandido	0.0 2	14.00	20.90	21.00	21.80	22.00	22.00	22.30	23.20	23.80	23.90
	Avena	Poliestireno expandido	0.0 3	15.00	21.50	21.50	22.00	22.30	23.10	24.20	24.50	24.60	24.60
	Avena con miel	Poliestireno expandido	0.0 1	10.00	11.50	11.60	12.50	13.00	13.50	13.60	14.00	14.20	14.20
	Comida de gato	Poliestireno expandido	0.0 2	20.00	21.00	22.00	22.50	22.50	22.60	22.60	22.30	23.00	23.20
2	Maíz	Poliestireno expandido	0.0 1	9.00	10.50	10.90	11.00	11.30	12.00	12.60	13.00	13.20	13.20
	Afrecho	Poliestireno expandido	0.0 2	14.00	21.20	21.60	21.80	22.00	22.90	23.00	23.20	24.00	24.20
	Avena	Poliestireno expandido	0.0 2	15.00	21.00	21.60	21.90	22.00	22.30	22.50	23.00	23.20	23.20
	Avena con miel	Poliestireno expandido	0.0 2	11.00	13.60	14.00	14.20	14.80	15.00	15.20	16.10	16.10	16.20
	Comida de gato	Poliestireno expandido	0.0 3	16.00	23.50	23.60	23.80	24.00	24.20	24.50	24.60	24.90	25.00
1	Maíz	Polipropileno	0.0 1	5.00	5.20	6.00	6.30	7.00	7.20	8.00	8.10	8.60	8.70
	Afrecho	Polipropileno	0.0 1	4.00	5.00	6.00	6.00	6.20	6.30	6.50	6.80	7.00	7.00
	Avena	Polipropileno	0.0 0	2.00	3.00	3.20	3.50	3.20	3.20	3.20	3.20	3.20	3.20
	Avena con miel	Polipropileno	0.0 1	2.00	5.00	5.50	5.60	5.60	6.30	6.30	6.40	6.40	6.40
	Comida de gato	Polipropileno	0.0 1	4.00	5.00	5.20	5.60	5.80	6.00	6.10	6.10	6.20	6.30
2	Maíz	Polipropileno	0.0 1	2.00	6.00	6.80	7.00	7.20	7.30	7.80	7.80	7.90	8.00
	Afrecho	Polipropileno	0.0 0	0.50	2.00	3.00	3.20	3.20	3.50	4.00	4.10	4.20	4.20
	Avena	Polipropileno	0.0 1	2.00	3.00	4.00	4.20	4.50	4.60	4.70	4.80	4.90	5.00
	Avena con miel	Polipropileno	0.0 0	1.00	3.00	3.50	3.60	3.70	3.70	3.80	3.80	3.80	3.80

Comida de gato	Polipropilen o	0.0 1	4.00	5.00	5.20	5.60	5.80	6.10	6.20	6.20	6.30	6.30
-------------------	-------------------	----------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

Nota. En la tabla 6 se muestran los resultados de la biodegradación de plásticos por larvas de *Galleria mellonella* en diferentes tiempos de exposición.

Para cada combinación de dieta y tipo de plástico, los valores corresponden a la cantidad de plástico biodegradado en miligramo a lo largo de las distintas horas de exposición. Se puede observar que el polietileno expandido (EPS) presentó la mayor capacidad de biodegradación en todos los periodos de exposición, alcanzando hasta 24.90 mg de biodegradación a las 120 horas con la dieta de comida de gato. A diferencia de esto, el polipropileno (PP) mostró un comportamiento menos eficiente en la biodegradación, con valores de reducción de peso entre 3.20 mg y 8.70 mg, dependiendo de la dieta y el tiempo de exposición.

Tabla 9

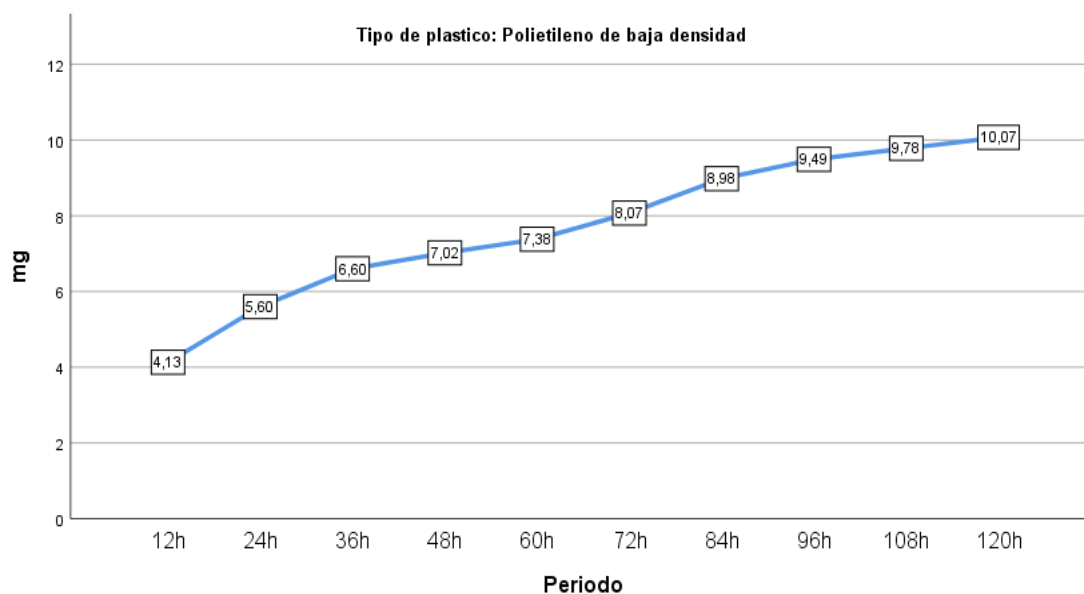
Biodegradación de polietileno de baja densidad según periodo de exposición

Tipo de plástico: Polietileno de baja densidad										
Periodo	12h	24h	36h	48h	60h	72h	84h	96h	108h	120h
mg	4.13	5.60	6.60	7.02	7.38	8.07	8.98	9.49	9.78	10.07

Nota: Datos procesados por el software SPSS.25

Figura. 12

Biodegradación de polietileno de baja densidad (mg) por Galleria mellonella según periodo de exposición (en horas)



Nota. Análisis de datos de laboratorio procesado por el software SPSS.25. En la Figura 12 se observa que, durante las primeras 24 horas, se biodegradaron 5.6 mg de polietileno de baja densidad. Al cabo de 120 horas, la biodegradación alcanzó los 10.07 mg, lo que representa una diferencia de 4.47 mg respecto al inicio del experimento.

Tabla 10

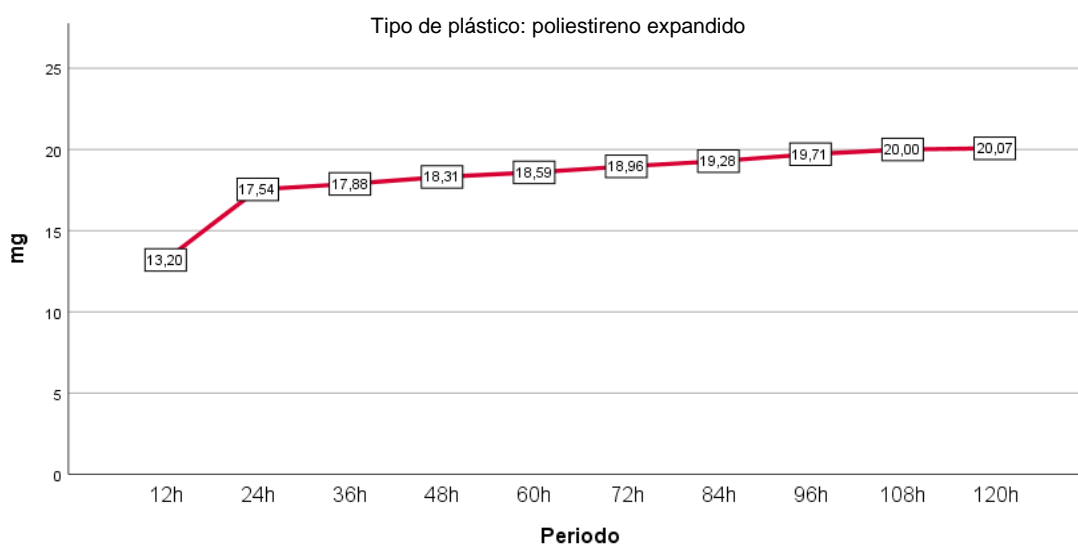
Biodegradación de poliestireno expandido según periodo de exposición

Tipo de plástico: Poliestireno expandido										
Periodo	12h	24h	36h	48h	60h	72h	84h	96h	108h	120h
mg	13.20h	17.54h	17.88h	18.31h	18.59h	18.96h	19.28h	19.71h	20h	20.07h

Nota: Datos procesados por el software SPSS.25

Figura. 13

Biodegradación de poliestireno expandido (mg) por Galleria mellonella según periodo de exposición (en horas)



Nota. Análisis de datos de laboratorio procesado por el software SPSS.25. En la Figura 13 se observa que la biodegradación del poliestireno expandido alcanzó su valor más alto en las primeras 24 horas, con 17.54 mg. A las 120 horas, la cantidad biodegradada fue de 20.07 mg, lo que representa una diferencia de 2.53 mg respecto al primer registro.

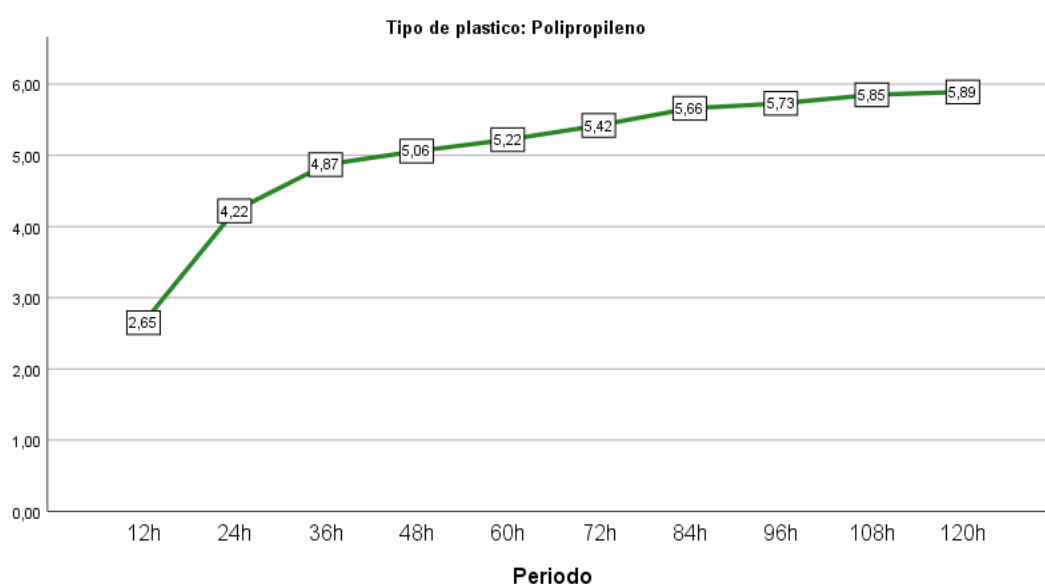
Tabla 11*Biodegradación de polipropileno según periodo de exposición*

Tipo de plástico: Polipropileno										
Periodo	12h	24h	36h	48h	60h	72h	84h	96h	108h	120h
mg	13.20h	17.54h	17.88h	18.31h	18.59h	18.96h	19.28h	19.71h	20h	20.07h

Nota. Datos procesados por el software SPSS.25

Figura 14

Biodegradación de polipropileno (mg) por Galleria mellonella según periodo de exposición (en horas)



Nota. Análisis de datos de laboratorio procesado por el software SPSS.25. En la Figura 14 se observa que, en las primeras 24 horas, las larvas biodegradaron 4.22 mg de polipropileno. A las 120 horas, la cantidad alcanzó los 5.89 mg, evidenciando una diferencia de solo 1.64 mg en un periodo de cuatro días.

5.1.5 Prueba de hipótesis

Para validar las hipótesis de esta investigación, se realizaron análisis estadísticos utilizando el software SPSS v.25. Primero, se aplicaron pruebas de normalidad (Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk) y de homogeneidad de varianzas

(prueba de Levene) para verificar los supuestos necesarios antes de aplicar pruebas paramétricas.

La prueba t de Student para muestras emparejadas fue utilizada para evaluar la hipótesis general, al comparar el peso inicial y final del plástico expuesto a las larvas. Para las hipótesis específicas, se aplicó el ANOVA de un factor, ya que se evaluaron diferencias entre más de dos grupos (tipo de plástico, dieta y tiempo de exposición). En los casos en que no se cumplió el supuesto de igualdad de varianzas, se consideró el uso complementario de pruebas no paramétricas.

- **Para la hipótesis general**

Con el objetivo de evaluar la hipótesis general de la investigación y comprobar si hay una diferencia significativa entre el peso inicial y final de los plásticos sometidos a la acción de larvas de *Galleria mellonella*, se empleó una prueba t de Student para muestras pareadas, dado que los datos provienen de mediciones repetidas en el mismo grupo experimental (antes y después de la exposición). Se utilizó un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$.

H₀ (Hipótesis nula): Las larvas de *Galleria mellonella* no presentan una capacidad significativa de biodegradación de plásticos (polietileno de baja densidad, poliestireno expandido y polipropileno) durante un período de 5 días.

H₁ (Hipótesis alternativa): Las larvas de *Galleria mellonella* presentan una capacidad significativa de biodegradación de plásticos (polietileno de baja densidad, poliestireno expandido y polipropileno) durante un período de 5 días

Tabla 12

Prueba t de Student para muestras emparejadas (peso inicial vs. peso final del plástico)

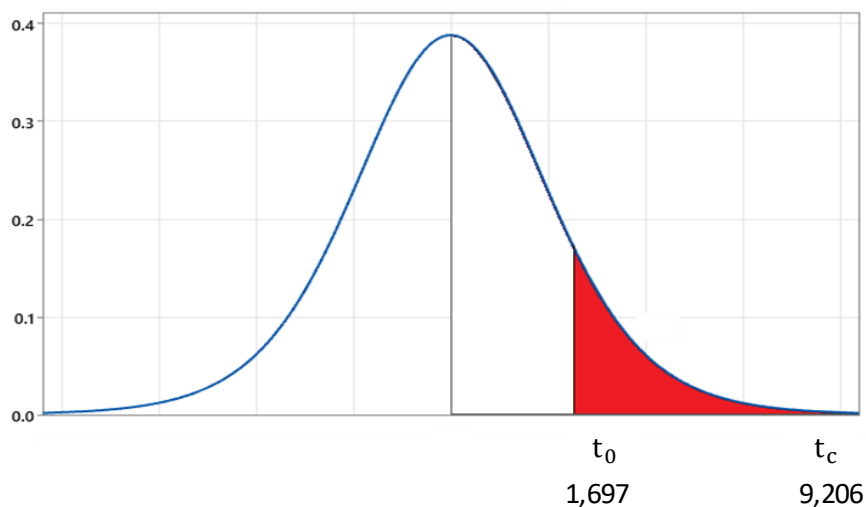
Prueba t para medias de dos muestras emparejadas		
	<i>PESO DE PLASTICO INICIAL</i>	<i>PESO FINAL DE PLASTICO</i>
Media	0.6516	0.639776667
Varianza	0.005584455	0.005603848
Observaciones	30	30
Coefficiente de correlación de Pearson	0.995578916	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	29	
Estadístico t	9.206204566	
P(T<=t) una cola	2.08179E-10	
Valor crítico de t (una cola)	1.699127027	
P(T<=t) dos colas	4.16359E-10	
Valor crítico de t (dos colas)	2.045229642	

Nota. La Tabla 12 presenta los resultados de la prueba t de Student para muestras emparejadas.

El valor de significancia obtenido ($p = 4,16 \times 10^{-10}$) es menor que el nivel de significancia $\alpha = 0.05$, lo que indica que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa. Por lo tanto, se concluye que existe una diferencia significativa entre el peso inicial y el peso final del plástico, confirmando que las larvas de *Galleria mellonella* sí presentan una capacidad significativa de biodegradación sobre los plásticos evaluados a nivel de laboratorio.

Figura. 15

Representación de la prueba t de Student mediante la curva normal



Nota. La curva representa la distribución t de Student utilizada para evaluar la hipótesis general del estudio.

El valor crítico es 1.697 y el valor obtenido del estadístico t fue 9.206, lo que indica que este se ubica dentro de la región de rechazo (área sombreada en rojo). Esto permite rechazar la hipótesis nula y aceptar la hipótesis alternativa, concluyendo que existe una diferencia significativa entre el peso inicial y final del plástico, evidenciando la biodegradación realizada por las larvas de *Galleria mellonella*.

• **Para la hipótesis específica N° 1**

H₀: No existe diferencia significativa en la capacidad de biodegradación entre los tipos de plástico expuestos a larvas de *Galleria mellonella*.

H₁: Existe un tipo de plástico (polietileno de baja densidad, poliestireno expandido o polipropileno) que presenta una mayor biodegradación al ser expuesto a larvas de *Galleria mellonella* durante un período de 5 días.

Tabla 13

Análisis de prueba ANOVA para los tipos de plástico biodegradado (mg)

		Pruebas de normalidad					
Tipo de plástico		Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Plástico biodegradado(mg)	Poliétileno de baja densidad	0.076	100	0.174	0.977	100	0.073
	Poliéstireno expandido	0.229	100	0.000	0.860	100	0.000
	Polipropileno	0.104	100	0.009	0.979	100	0.108

a. Corrección de significación de Lilliefors

Nota. Análisis de datos procesados mediante el software SPSS 25.

La tabla 13 muestra los resultados de las pruebas de normalidad Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk aplicadas a los tres tipos de plástico. Para el polietileno de baja densidad ($p = 0.073$) y el polipropileno ($p = 0.108$), los valores de significancia superan 0.05, indicando que los datos siguen una distribución normal. En el caso del polietileno expandido, el valor de $p < 0.05$ sugiere desviación de la normalidad; sin embargo, debido al tamaño de muestra ($n = 100$), y considerando que ANOVA es robusto frente a ligeras violaciones de normalidad, se justifica el uso del análisis de varianza. La prueba de Shapiro-Wilk fue utilizada debido a su mayor sensibilidad en tamaños de muestra pequeños o moderados.

Tabla 14

Prueba de homogeneidad de varianzas para el plástico biodegradado (mg)

Prueba de homogeneidad de varianzas		Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
Plástico biodegradado(mg)	Se basa en la media	129.633	2.000	297.000	0.000
	La mediana	45.184	2.000	297.000	0.000
	La mediana y con gl ajustado	45.184	2.000	166.216	0.000
	Se basa en la media recortada	125.994	2.000	297.000	0.000

Nota. La tabla 9 presenta los resultados de la prueba de Levene, utilizada para evaluar la homogeneidad de varianzas entre los tres tipos de plástico analizados (polietileno de baja densidad, polietileno expandido y polipropileno) en función del plástico biodegradado (mg).

Se aplicaron diferentes criterios: basada en la media, en la mediana, en la mediana con gl ajustado y en la media recortada. En todos los casos, los valores de significancia fueron menores a 0.05 ($p = 0.000$), lo que indica que no se cumple el supuesto de igualdad de varianzas entre los grupos. Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula de homogeneidad de varianzas, recomendando considerar pruebas estadísticas robustas o alternativas al ANOVA tradicional. Análisis realizado con el software SPSS v.25. gl1 representa los grados de libertad entre grupos ($k - 1$), y gl2 los grados de libertad dentro de los grupos ($n - k$).

Tabla 15

Análisis de varianza (ANOVA) para el plástico biodegradado (mg) según tipo de plástico

ANOVA					
Plástico biodegradado(mg)					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	9903.713	2.000	4951.857	361.031	0.000
Dentro de grupos	4073.619	297.000	13.716		
Total	13977.332	299.000			

Nota. La tabla 10 presenta los resultados del análisis de varianza (ANOVA) aplicado a los datos de cantidad de plástico biodegradado (mg) según el tipo de plástico utilizado: polietileno de baja densidad, polietileno expandido y polipropileno.

El valor de significancia ($p = 0.000$) es menor al umbral de 0.05, lo que indica una diferencia estadísticamente significativa entre los grupos evaluados. La suma de cuadrados entre grupos fue de 9903.713 con un valor F de 361.031, respaldando la decisión de rechazar la hipótesis nula. Esto permite concluir que el tipo de plástico influye significativamente en el nivel de biodegradación por parte de las larvas de *Galleria mellonella*. Análisis procesado con el software SPSS v.25.

• **Para la hipótesis específica N° 2**

H₀: La dieta suministrada a las larvas de *Galleria mellonella* no influye significativamente en el nivel de biodegradación de los plásticos durante un período de 5 días.

H₁: La dieta suministrada a las larvas de *Galleria mellonella* influye significativamente en el nivel de biodegradación de los plásticos durante un período de 5 días

Tabla 16

Media de plástico biodegradado (mg) según dieta suministrada a Galleria mellonella (polietileno de baja densidad)

	Tipo de plástico					Comida de gato
	Polietileno de baja densidad					
	Dieta					
	Maíz	Afrecho	Avena	Avena con miel		
	M	M	M			
^a	edia	edia	edia	Media	Media	
Plástico biodegradado(mg)	10,36	5,39	6,71	7,62	8,48	

a. Tipo de plástico = Polietileno de baja densidad

Nota. Medias de biodegradación de polietileno de baja densidad por larvas de *Galleria mellonella*

La tabla 16 presenta las medias de biodegradación de polietileno de baja densidad por larvas de *Galleria mellonella* bajo cinco tipos de dieta diferentes durante 5 días. Se observa que la mayor degradación se produjo con dieta de maíz (10,36 mg), mientras que la menor con afrecho (5,39 mg). Estos valores sugieren posibles diferencias entre grupos, que deben ser verificadas mediante pruebas estadísticas inferenciales.

Tabla 17

Prueba de homogeneidad de varianzas de Levene para los valores de plástico biodegradado según dieta en larvas de Galleria mellonella (polietileno de baja densidad)

Prueba de homogeneidad de varianzas^a

		Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
Plástico	Se basa en la media	5,033	4	95	,001
biodegradado(mg)	Se basa en la mediana	3,758	4	95	,007
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	3,758	4	76,904	,008
	Se basa en la media recortada	4,983	4	95	,001

a. Tipo de plástico = Polietileno de baja densidad

Nota. Análisis procesado con el software SPSS v.25.

La prueba de Levene fue aplicada bajo diferentes métodos (media, mediana, mediana con gl ajustado y media recortada) para evaluar la homogeneidad de varianzas en los grupos de dietas. En todos los casos, los valores de significancia fueron menores a 0.05, lo que indica que no se cumple el supuesto de igualdad de varianzas. Esto sugiere que las dietas tienen una influencia desigual sobre la variabilidad del plástico biodegradado.

Tabla 18

Análisis de varianza (ANOVA) para el efecto de la dieta sobre el plástico biodegradado por larvas de Galleria mellonella (polietileno de baja densidad)

ANOVA^a

Plástico biodegradado(mg)

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	280,118	4	70,029	7,995	,000
Dentro de grupos	832,168	95	8,760		
Total	1112,286	99			

a. Tipo de plástico = Polietileno de baja densidad

Nota. Análisis procesado con el software SPSS v.25.

El análisis de varianza (ANOVA) arrojó un valor de $F = 7,995$ con un valor de significancia de $p = 0,000$, lo que indica diferencias estadísticamente significativas en la biodegradación del plástico entre los grupos de dietas. La suma de cuadrados entre grupos

fue de 280,118 con 4 grados de libertad; dentro de grupos, la suma fue de 832,168 con 95 grados de libertad; y el total fue de 1112,286 con 99 grados de libertad. No obstante, la prueba de Levene aplicada bajo distintos métodos (media, mediana, mediana con gl ajustado y media recortada) arrojó valores de $p < 0.05$ en todos los casos, lo que evidencia la no homogeneidad de varianzas. Por tanto, se recomienda interpretar los resultados con cautela y complementarlos con pruebas no paramétricas.

Tabla 19

Prueba de homogeneidad de varianzas de Levene para plástico biodegradado según dieta (poliestireno expandido)

Prueba de homogeneidad de varianzas ^a					
		Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
Plástico biodegradado(mg)	Se basa en la media	0.497	4.000	95.000	0.738
	Mediana	0.374	4.000	95.000	0.827
	Mediana y con gl ajustado	0.374	4.000	70.365	0.826
	Media recortada	0.378	4.000	5.000	0.824

a. Tipo de plastico = Poliestireno expandido

Nota. Análisis procesado con el software SPSS v.25.

La prueba de Levene se aplicó utilizando cuatro métodos: media, mediana, mediana con grados de libertad ajustados y media recortada. En todos los casos, los valores del estadístico de Levene fueron bajos (entre 0,374 y 0,497), y los valores de significancia (p) fueron mayores a 0.05. Esto indica que se cumple el supuesto de homogeneidad de varianzas entre los grupos de dietas, permitiendo la aplicación del ANOVA con validez. Por tanto, no se detectaron diferencias significativas en la varianza del plástico biodegradado por las larvas en función de las dietas evaluadas.

Tabla 20

Análisis de varianza (ANOVA) del nivel de biodegradación de poliestireno expandido según dieta

ANOVA^a

Plástico biodegradado(mg)					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	2204.103	4.000	551.026	116.048	0.000
Dentro de grupos	451.085	95.000	4.748		
Total	2655.188	99.000			

a. Tipo de plástico = Poliestireno expandido

Nota. Análisis procesado con el software SPSS v.25.

El análisis de varianza (ANOVA) reveló diferencias estadísticamente significativas entre las dietas suministradas a las larvas de *Galleria mellonella* ($F(4, 95) = 116.048$, $p < .001$). La suma de cuadrados entre grupos fue de 2204.103 ($gl = 4$), con una media cuadrática de 551.026. Dentro de los grupos, la suma de cuadrados fue de 451.085 ($gl = 95$), y la suma total alcanzó los 2655.188 ($gl = 99$). Estos resultados indican que la dieta tiene un efecto significativo sobre la biodegradación del poliestireno expandido, sugiriendo que ciertas dietas mejoran sustancialmente esta capacidad en las larvas.

Tabla 21

Prueba de homogeneidad de varianzas de Levene para plástico biodegradado según dieta (polipropileno)

Prueba de homogeneidad de varianzas ^a					
		Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
Plástico biodegradado(mg)	Se basa en la media	5.148	4.000	95.000	0.001
	Se basa en la mediana	3.285	4.000	95.000	0.014
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	3.285	4.000	77.134	0.015
	Se basa en la media recortada	5.190	4.000	95.000	0.001

a. Tipo de plástico = Polipropileno

Nota. Análisis procesado con el software SPSS v.25.

La prueba de Levene se aplicó bajo distintos métodos (media, mediana, mediana con gl ajustado y media recortada) para evaluar la homogeneidad de varianzas en los grupos de dieta. Los resultados fueron mixtos: bajo los métodos basados en la media ($F(4, 95) = 5.148$, $p < .05$) y la mediana ($F(4, 95) = 3.285$, $p < .05$), se encontraron diferencias significativas, lo que indica varianzas no homogéneas. Sin embargo, con la mediana con gl ajustado y la media recortada, los valores p fueron mayores a .05,

sugiriendo homogeneidad. Ante esta inconsistencia y la presencia de resultados significativos en métodos clave, se concluye que no se cumple plenamente el supuesto de homogeneidad de varianzas, por lo que se recomienda interpretar los resultados del ANOVA con cautela o aplicar pruebas robustas no paramétricas como alternativa.

Tabla 22

Análisis de varianza (ANOVA) del nivel de biodegradación de polipropileno según dieta

ANOVA ^a					
Plástico biodegradado(mg)					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	127.122	4.000	31.780	16.864	0.000
Dentro de grupos	179.023	95.000	1.884		
Total	306.14 5	99.000			

a. Tipo de plástico = Polipropileno

Nota. Análisis procesado con el software SPSS v.25.

El análisis de varianza (ANOVA) mostró diferencias estadísticamente significativas entre las dietas ($F(4, 95) = 16.864, p < .001$), lo que sugiere que la dieta influye de forma sustancial en la biodegradación del polipropileno por las larvas de *Galleria mellonella*. La suma de cuadrados entre grupos fue 127.122 con una media cuadrática de 31.780, mientras que la suma de cuadrados dentro de grupos fue 179.023, con un total de 306.145. No obstante, debido a que no se cumple el supuesto de homogeneidad de varianzas, estos resultados deben ser interpretados con precaución y, de ser posible, corroborados mediante métodos estadísticos robustos.

- **Para la hipótesis específica N° 3**

H₀: El periodo de exposición en horas no tiene un efecto significativo en la biodegradación del polietileno de baja densidad, poliestireno expandido y polipropileno durante un período de 5 días

H₁: El periodo de exposición en horas tiene un efecto significativo en la biodegradación del polietileno de baja densidad, poliestireno expandido y polipropileno durante un período de 5 días

Tabla 23

Prueba de homogeneidad de varianzas de Levene para plástico biodegradado según horas de exposición (polietileno de baja densidad)

Prueba de homogeneidad de varianzas ^a					
		Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
Plástico biodegradado(mg)	Se basa en la media	0.279	9.000	90.000	0.979
	Se basa en la mediana	0.248	9.000	90.000	0.986
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	0.248	9.000	86.618	0.986
	Se basa en la media recortada	0.279	9.000	90.000	0.979

a. Tipo de plástico = Polietileno de baja densidad

Nota. Análisis procesado con el software SPSS v.25.

La prueba de Levene fue aplicada bajo distintos métodos (media, mediana, mediana con gl ajustado y media recortada), obteniéndose valores $p > .05$ en todos los casos ($p = .979$), lo que indica que se cumple el supuesto de homogeneidad de varianzas. Por tanto, es apropiado aplicar el análisis de varianza (ANOVA) para evaluar diferencias entre los grupos de tratamiento.

Tabla 24

Análisis de varianza (ANOVA) del nivel de biodegradación del polietileno de baja densidad según horas de exposición

ANOVA ^a					
Plástico biodegradado(mg)					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	338.510	9.000	37.612	4.375	0.000
Dentro de grupos	773.776	90.000	8.598		
Total	1112.286	99.000			

a. Tipo de plástico = Polietileno de baja densidad

Nota. Análisis procesado con el software SPSS v.25.

El análisis de varianza (ANOVA) reveló diferencias estadísticamente significativas entre los distintos periodos de exposición ($F(9, 90) = 4.375, p < .001$). La suma de

cuadrados entre grupos fue 338.510 con una media cuadrática de 37.612, mientras que la suma de cuadrados dentro de grupos fue 773.776. El total de la suma de cuadrados alcanzó 1112.286 con 99 grados de libertad. Estos resultados sugieren que el tiempo de exposición tiene un efecto significativo sobre el nivel de biodegradación del polietileno de baja densidad por las larvas de *Galleria mellonella*.

Tabla 25

Prueba de homogeneidad de varianzas de Levene para plástico biodegradado según horas de exposición (poliestireno expandido)

Prueba de homogeneidad de varianzas ^a					
		Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
Plástico biodegradado(mg)	Se basa en la media	1.371	9.000	90.000	0.213
	Se basa en la mediana	0.088	9.000	90.000	1.000
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	0.088	9.000	84.872	1.000
	Se basa en la media recortada	1.216	9.000	90.000	0.295

a. Tipo de plástico = Poliestireno expandido

Nota. Análisis procesado con el software SPSS v.25.

Se aplicó la prueba de Levene para evaluar la homogeneidad de varianzas entre los grupos en diferentes métodos: media ($F(9, 90) = 1.371$), mediana ($F(9, 90) = 0.088$), mediana con gl ajustado ($F(9, 90) = 0.088$) y media recortada ($F(9, 90) = 1.216$). En todos los casos, los valores p fueron mayores a .05, lo que indica que se cumple el supuesto de igualdad de varianzas. Por tanto, es adecuado aplicar un análisis de varianza (ANOVA) sin necesidad de ajustes adicionales.

Tabla 26

Análisis de varianza (ANOVA) del nivel de biodegradación del poliestireno expandido según horas de exposición

ANOVA ^a					
Plástico biodegradado(mg)					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	362.260	9.000	40.251	1.580	0.133
Dentro de grupos	2292.928	90.000	25.477		
Total	2655.188	99.000			

a. Tipo de plástico = Poliestireno expandido

Nota. Análisis procesado con el software SPSS v.25.

El análisis de varianza (ANOVA) mostró que no hubo diferencias estadísticamente significativas en los niveles de biodegradación del polietileno expandido entre los distintos periodos de exposición ($F(9, 90) = 1.580, p = .133$). Esto sugiere que el tiempo de exposición no tuvo un efecto significativo sobre la biodegradación de este tipo de plástico por parte de *Galleria mellonella*.

Tabla 27

Prueba de homogeneidad de varianzas de Levene para plástico biodegradado según horas de exposición (polipropileno)

Prueba de homogeneidad de varianzas ^a					
		Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
Plástico biodegradado(mg)	Se basa en la media	0.299	9.000	90.000	0.973
	Se basa en la mediana	0.176	9.000	90.000	0.996
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	0.176	9.000	87.015	0.996
	Se basa en la media recortada	0.299	9.000	90.000	0.973

a. Tipo de plastico = Polipropileno

Nota. Análisis procesado con el software SPSS v.25.

La prueba de Levene aplicada bajo diferentes métodos (media, mediana, mediana con gl ajustado y media recortada) arrojó valores $p > .05$ en todos los casos ($p = .973$), lo que indica que se cumple el supuesto de homogeneidad de varianzas entre los grupos. Por lo tanto, es apropiado aplicar el ANOVA sin necesidad de correcciones adicionales.

Tabla 28

Análisis de varianza (ANOVA) del nivel de biodegradación del polipropileno según horas de exposición

ANOVA ^a					
Plástico biodegradado(mg)					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	88.268	9.000	9.808	4.051	0.000
Dentro de grupos	217.877	90.000	2.421		
Total	306.145	99.000			

a. Tipo de plástico = Polipropileno

Nota. Análisis procesado con el software SPSS v.25.

El análisis de varianza reveló diferencias estadísticamente significativas ($p < .001$) en los niveles de biodegradación del polipropileno según el tiempo de exposición.

Esto sugiere que el periodo de contacto influye significativamente en la capacidad biodegradadora de *Galleria mellonella* frente a este tipo plástico.

5.2 Discusión de Resultados

En la investigación se determinó que las larvas de gusanos de cera (*Galleria Mellonella*) poseen la capacidad de biodegradar tres tipos diferentes de plásticos (polietileno de baja densidad, poliestireno expandido y polipropileno) en la investigación se propusieron los tres plásticos, haciendo una comparación con las investigaciones de Chávez & Lizana (2022) y Billen et al (2020) solo se toma como referencia al polietileno de baja densidad y en la de Espinoza(2018) determino la eficiencia de biodegradación del poliestireno expandido y Marquez (2019) que estudio el polipropileno.

En la investigación también se identificó que el tipo de plástico influye significativamente en la capacidad de biodegradación, siendo el poliestireno el que tiene el mayor número de biodegradación con 18,35mg en 6 días, en comparación de la investigación de Espinoza (2018), donde investigo la eficiencia de las larvas tenebrio *monitor* y *galleria mellonella* para la biodegradación de cloruro de polivinilo y poliestireno expandido, siendo la biodegradación del poliestireno después de 15 días un 34.4%, los resultados en comparación con mi investigación son significativas considerando que el tiempo de exposición fue mayor a los datos de la investigación.

La dieta basada en maíz logró la mayor degradación, alcanzando 10,36 mg en el caso del polietileno de baja densidad. Para el poliestireno expandido, la alimentación con comida para gatos permitió una biodegradación de 22,82 mg, mientras que la dieta de

maíz fue la más efectiva para degradar el polipropileno con 6,91 mg. En el estudio realizado por Cassone et al. (2022), que investigó cómo la dieta influye en la fisiología metabólica de los gusanos de *Galleria mellonella*, se utilizaron frutas y verduras como alimento, así como una muestra en la que la dieta consistía únicamente en plástico. Los resultados demostraron que proporcionar una dieta adecuada a los gusanos es fundamental para garantizar su supervivencia y favorecer la biodegradación.

Se concluyó que el tiempo de exposición también influye en la eficacia del proceso de biodegradación; en todos los casos, la mayor parte de la biodegradación se produjo durante la fase inicial. Esta observación se sustenta en estudios realizados por Billen et al. (2020), Jiménez (2019), Márquez (2019), Chávez y Lizaga (2022), Gillen y Paredes (2022), y Espinoza (2018), los cuales coinciden con los resultados de esta investigación, indicando que la mayor cantidad de biodegradación ocurre dentro de las primeras 24 horas.

VI. Conclusiones

- La presente investigación permitió determinar que las larvas de *Galleria mellonella* poseen la capacidad de biodegradar distintos tipos de plásticos, entre ellos el polietileno de baja densidad (LDPE), el poliestireno expandido (EPS) y el polipropileno (PP), bajo condiciones controladas de laboratorio.
- Se identificó que el tipo de plástico influye en la capacidad de biodegradación. El poliestireno expandido presentó el mayor número de biodegradación con 18.35mg en 5 días, mientras el polipropileno fue el que tuvo los números más bajos en biodegradación con 5.06 mg, esto confirma que las características estructurales del polímero afectan directamente su vulnerabilidad a ser biodegradados por las larvas.
- Se evaluó que la dieta suministrada a las larvas tiene un efecto determinante sobre la eficiencia del proceso. Para el LDPE, la dieta a base de maíz, logró la mayor degradación con 10,36 mg. En el caso del EPS, la comida de gato permitió una degradación de 22,82 mg, siendo la más efectiva. Para el PP, nuevamente la dieta de maíz fue la más favorable, alcanzando los 6,91 mg. Estos resultados sugieren que ciertos componentes nutricionales estimulan el metabolismo larval vinculado a la biodegradación.
- Se determinó que el periodo de exposición también afecta la eficiencia del proceso. En todos los casos, para el poliestireno de baja densidad dentro de las primeras 24 horas se biodegradó 5.6mg, como también en el caso del poliestireno expandido que se logró una biodegradación de 17.54mg y finalmente para el polipropileno se observó una biodegradación de 4.22mg las primeras 24 horas, se puede determinar que las primeras horas de exposición son fundamentales para la biodegradación

VII. Recomendaciones

- Se recomienda investigar los microorganismos presentes en la flora intestinal de las larvas de *Galleria mellonella* para comprender mejor los mecanismos biológicos involucrados en la biodegradación de plásticos, lo cual podría optimizar su capacidad de degradación y aportar información relevante para futuras investigaciones sobre el tema.
- Se sugiere realizar un análisis más detallado de las heces de las larvas de *Galleria mellonella* para confirmar y cuantificar los productos finales de la biodegradación, lo que proporcionaría evidencia adicional sobre la eficiencia de este proceso y permitiría comparar los resultados con los obtenidos en otros estudios relacionados.
- Sería conveniente extender la investigación a otros tipos de plásticos, como los bioplásticos o plásticos compuestos, para evaluar si las larvas de *Galleria mellonella* tienen la capacidad de degradar materiales alternativos.
- Se recomienda realizar estudios de mayor duración para determinar si el proceso de biodegradación continua a lo largo del tiempo o si las larvas de *Galleria mellonella* presentan una capacidad limitada de degradación, lo que podría ser crucial para entender el potencial de estas larvas en aplicaciones a gran escala.
- Es importante estudiar la viabilidad de utilizar las larvas de *Galleria mellonella* en sistemas de biodegradación a nivel industrial. Para ello, se sugiere explorar el comportamiento de estas larvas en condiciones más cercanas a un entorno industrial, evaluando su rendimiento en la degradación de grandes cantidades de plásticos y su adaptación a distintos ambientes y tipos de plásticos.
- Se recomienda profundizar en el análisis de factores ambientales como la temperatura, la humedad y la densidad de la población larval, ya que estos factores pueden influir significativamente en la tasa de biodegradación de los plásticos y son aspectos relevantes para replicar el proceso en condiciones de laboratorio más realistas.

VIII. Referencias bibliográficas

- Acuña, N. R. (2017). Revisión bibliográfica sobre los microorganismos biodegradadores de polietileno de baja densidad LDPE y sus efectos en el material [Trabajo de grado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. Repositorio Institucional UDFJC. <http://hdl.handle.net/11349/5608>
- Alania Vilcachagua, Y. M., & Pérez Romero, S. G. (2017). Efecto de la temperatura en el crecimiento de dos cepas ATCC de *Pseudomonas* sp. expuestas a polipropileno. Universidad Peruana Cayetano Heredia. Recuperado de <https://docplayer.es/94219006-Tesis-para-optar-por-eltitulo-profesional-de-licenciado-en-tecnologia-medica-especialidad-laboratorio-clinico.html>
- Ali, S. S., Elsamahy, T., Zhu, D., & Sun, J. (2023). Biodegradability of polyethylene by efficient bacteria from the guts of plastic-eating waxworms and investigation of its degradation mechanism. *Journal of Hazardous Materials*, 443, 130287. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.130287>
- Ali, S. S., Elsamahy, T., Zhu, D., & Sun, J. (2023). Biodegradability of polyethylene by efficient bacteria from the guts of plastic-eating waxworms and investigation of its degradation mechanism. *Journal of Hazardous Materials*, 443. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.130287>
- Almonte, G., Yosseline, T., Gamarra, P., & Milagros, R. (2021). Capacidad Biodegradable de las Especies *Tenebrio molitor* y *Galleria Mellonella*, en la Contaminación por Poliestireno y PEBD, Vitor, Arequipa, 2021.
- Arias, 2011, Estudio de caracterización de residuos sólidos de los distritos de Abancay y Tamburco.
- Arias, 2011, Estudio de caracterización de residuos sólidos de los distritos de Abancay y Tamburco.

- Austin, H., Allen, M., Donohoe, B., Rorrer, N., Kearns, F., Silveira, R., Pollard, B., Dominick, G., Duman, R., El Omari, K., Mykhaylyk, V., Wagner, A., Michener, W., Amore, A., Skaf, M., Crowley, M., Thorne, A., Johnson, C., Woodcock, H., McGeehan, J., &
- Avigon, A. (2009). Alimento vivo para aves. Accedido el 16 de septiembre de 2014 en: <http://www.avigon.es/Documentos/Alivivo.htm>
- Bakir, A., et al. (2014). Microorganismos degradadores de plásticos: Características y aplicaciones en la biorremediación. *Microbial Ecology*, 68(3), 551–563.
- Banco Interamericano de Desarrollo. (2021, marzo 24). Plásticos y pandemia: Un problema que persiste. <https://blogs.iadb.org/agua/es/plasticos-pandemia/>
- Bastidas, R., & Zavala, Y. (1995). Principios de entomología agrícola. Ediciones Sol de Barro. Falcón (Venezuela), p. 397.
- Beckham, G. (2018). Characterization and engineering of a plastic-degrading aromatic polyesterase. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115(19), E4350–E4357. <https://doi.org/10.1073/pnas.1718804115>
- Bertocchini, F. (2017). Biodegradación del plástico por larvas de gusano de cera. **Nature**, 552(7680), 214-217. <https://doi.org/10.1038/nature24630>
- Billen, P., Khalifa, L., Van Gerven, F., Tavernier, S., & Spatari, S. (2020). Technological application potential of polyethylene and polystyrene biodegradation by macro-organisms such as mealworms and wax moth larvae. *Science of the Total Environment*, 735, 139521. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139521>
- Billen, P., Khalifa, L., Van Gerven, F., Tavernier, S., & Spatari, S. (2020). Technological application potential of polyethylene and polystyrene biodegradation by macro-organisms such as mealworms and wax moth larvae. *Science of RESthe Total Environment*, 735. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139521>

Billmeyer, F. W. (1984). Textbook of polymer science (3rd ed.). John Wiley & Sons.

Biopolymers. (2022). los 3 Tipos De Plasticos Que Debes Conocer.

Bombelli, P., Howe, C. J., & Bertocchini, F. (2017). Polyethylene bio-degradation by caterpillars of the wax moth *Galleria mellonella*. *Current Biology: CB*, 27(8), R292–R293. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2017.02.060>

Brandon, A. M., Gao, S. H., Tian, R., Ning, D., Yang, S. S., Zhou, J., & Criddle, C. S. (2018). Biodegradation of polyethylene and plastic mixtures in worm guts. *Nature Communications*, 9(1), 1-12. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-04323-3>

Campos Granados, M. (2021). Biodegradación de plásticos convencionales: Estrategias y perspectivas [Trabajo Fin de Grado, Universidad de Almería]. Repositorio Institucional UAL. <https://repositorio.ual.es/handle/10835/13496>

Cassone, B. J., Grove, H. C., Kurchaba, N., Geronimo, P., & LeMoine, C. M. R. (2022). Fat on plastic: Metabolic consequences of an LDPE diet in the fat body of the greater wax moth larvae (*Galleria mellonella*). *Journal of Hazardous Materials*, 425, 127862. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.127862>

Cassone, B. J., Grove, H. C., Kurchaba, N., Geronimo, P., & LeMoine, C. M. R. (2022). Fat on plastic: Metabolic consequences of an LDPE diet in the fat body of the greater wax moth larvae (*Galleria Mellonella*). *Journal of Hazardous Materials*, 425. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.127862>

Ccallo Arela, M., Sacaca Masco, F., Callata Churac, R. A., Vigo Rivera, J. E., & Calla Calla, J. (2021). Biodegradación de polímeros de plástico por *Pseudomonas*. *Revista de Investigación Ciencia, Tecnología y Desarrollo*, 6(2), 46–59. <https://doi.org/10.17162/rictd.v6i2.1457>

Chávez Mestanza, M. N., & Lizana Nicolás, B. (2022). Cantidad óptima de larvas del “gusano de la cera” *Galleria mellonella* L. en biodegradación del polietileno de baja

- densidad [Tesis de licenciatura, Universidad Católica Sedes Sapientiae]. Repositorio UCSS. <https://hdl.handle.net/20.500.14095/1872>
- Chávez y Lizana. (2022). Cantidad óptima de larvas del “gusano de la cera” *Galleria Mellonella* L. en biodegradación del polietileno de baja densidad. <https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#1.05.08>
- Companies, The MckGraw-Hill (2019). Dictionary of Architecture. Retrieved from The
- Condezo Beteta, V. N. (2022). Eficiencia de las larvas *Tenebrio molitor* en la biodegradación de polímeros, Huánuco 2019 [Tesis para optar el título profesional de Ingeniera Ambiental, Universidad de Huánuco]. Repositorio Institucional UDH. <https://repositorio.udh.edu.pe/handle/123456789/3782>
- Crespo, c. C. (2022). El gusano de cera un arma contra los plasticos.
- Degradable. (s.f.). Biodegradación enzimática. Degradable Perú. <https://degradable.com.pe/vasos-en-descomposicion/>
- Deras Hernández, G. A. (2018). Efecto del consumo del polietileno de baja densidad en el desarrollo de la polilla de la cera (*Galleria mellonella*, Lepidóptera: Pyralidae) [Proyecto especial de graduación, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano]. Repositorio Digital Zamorano. <https://bdigital.zamorano.edu/bitstreams/404bfc26-cf53-41bc-8162-7e34e8d6a9b1/download>
- Esmeralda, R., López, J., & Méndez, A. (2008). Efecto del pH en la biodegradación de plásticos. *International Journal of Environmental Science*, 7(2), 65–74.
- Espejo Morales, J. (2019). Evaluación de la biodegradación del polietileno de baja densidad mediante larvas de *Tenebrio molitor* en condiciones de laboratorio [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]. Repositorio Institucional UCV. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/51015>

- Espinoza, J. (2018). Eficiencia de las larvas *Tenebrio molitor* y *Galleria mellonella* para la biodegradación de microplásticos de la playa Costa Azul, Ventanilla, Callao, 2018 [Tesis de licenciatura, Universidad César Vallejo]. Repositorio Institucional UCV. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/49181>
- Estudio de Caracterización de residuos sólidos de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, 2022 free dictionary. (pág. 12)
- Fraune, S., & Bosch, T. C. (2010). Why bacteria matter in animal development and evolution. *BioEssays*, 32(7), 571–580. <https://doi.org/10.1002/bies.200900192>
- Fraune, S., & Bosch, T. C. (2010). Why bacteria matter in animal development and evolution. *BioEssays*, 32(7), 571–580. <https://doi.org/10.1002/bies.200900192>
- Geyer, R., Jambeck, J. R., & Law, K. L. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science Advances*, 3(7), e1700782. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1700782>
- Gonzales Mamani, J. A. (2021). Evaluación del uso de polietileno expandido reciclado como agregado para concreto liviano estructural [Tesis de licenciatura, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. Repositorio UPC. <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/655891>
- González, A., Pérez, P., & López, F. (2013). *Pseudomonas* en la biorremediación de plásticos: Un estudio sobre su capacidad degradadora. *Journal of Applied Microbiology*, 22(1), 11–22.
- Goodman, R. (2003). This Agricultural Note was developed This Agricultural Note was developed by Department of Environment and Primary Industries
- Guillén, T. Y., & Paredes, R. M. (2022). Capacidad biodegradable de las especies *Tenebrio molitor* y *Galleria mellonella*, en la contaminación por poliestireno y PEBD, Vitor, Arequipa, 2021 [Tesis de licenciatura, Universidad César Vallejo].

Repositorio Institucional UCV.

<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/88763>

Hakkarainen, M., & Albertsson, A. C. (2004). Environmental degradation of polyethylene. *Advances in Polymer Science*, 169(March 1991), 177–199. [https://doi.org/10.1016/S0141-3910\(03\)00129-0](https://doi.org/10.1016/S0141-3910(03)00129-0)

Hammer, J., Kraak, M. H. S., & Parsons, J. R. (2012). Plastics in the marine environment: The dark side of a modern gift. In M. Bergmann, L. Gutow, & M. Klages (Eds.), *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology* (Vol. 220, pp. 1–44). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-3414-6_1

Hansen, A. K., & Moran, N. A. (2014). The impact of microbial symbionts on host plant utilization by herbivorous insects. *Molecular Ecology*, 23(6), 1473–1496. <https://doi.org/10.1111/mec.12421>

Hardoim, P. R., van Overbeek, L. S., & van Elsas, J. D. (2008). Properties of bacterial endophytes and their proposed role in plant growth. *Trends in Microbiology*, 16(10), 463–471. <https://doi.org/10.1016/j.tim.2008.07.008>

He, M., Chen, H., Yang, X., Gao, Y., Lu, Y., & Cheng, D. (2022). Gut bacteria induce oviposition preference via ovipositor recognition in the fruit fly. *Communications Biology*, 5(1), 973. <https://doi.org/10.1038/s42003-022-03947-z>

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6.^a ed.). McGraw-Hill.

Huamán Gamarra, C. H. (2023). Uso de larvas de *Galleria mellonella* para la biodegradación de plásticos de un solo uso [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga].

<https://repositorio.unsch.edu.pe/handle/20.500.12799/12252>

- IEQFB. (2023, noviembre 2). Biotecnología ambiental: qué es, qué hace y ejemplos. <https://ieqfb.com/biotecnologia-ambiental-que-hace-ejemplos/#:~:text=La%20biotecnolog%C3%ADa%20ambiental%20es%20aquella,ello%20puede%20realizar%20varias%20tareass.>
- in Methods.
- Janson, E. M., Stireman, J. O. III, Singer, M. S., & Abbot, P. (2008). Phytophagous insect–microbe mutualisms and adaptive evolutionary diversification. *Evolution*, 62(5), 997–1012. <https://doi.org/10.1111/j.1558-5646.2008.00348.x>
- Jiménez, C. G. (2019). Biodegradación del poliestireno expandido por larvas de *Galleria mellonella* Linnaeus (Lepidoptera: Pyralidae) en condiciones de laboratorio [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Abierta y a Distancia]. Repositorio Institucional UNAD. <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/37360>
- John S. Losey y Michael G. Scriber (2007). The importance of larval ecology for insect conservation de
- Julio Ordoñez Gálvez, J., & Azul, C. (2019). Eficiencia de las larvas *Tenebrio Molitor* y *Galleria Mellonella* para la biodegradación de microplásticos de la playa.
- Kershaw, P. (1998). Oxidación en la biodegradación de plásticos: El papel de las enzimas microbianas. *Environmental Microbiology*, 9(2), 99-110.
- Kwadha, C. A., Ong'amo, G. O., Ndegwa, P. N., Raina, S. K., & Fombong, A. T. (2017). The Biology and Control of the Greater Wax Moth, *Galleria mellonella*. *Insects*, 8(2), 61. <https://doi.org/10.3390/insects8020061>
- Lloret, M. (2006). El ciclo biológico de la polilla grande de la cera (*Galleria mellonella*). Trabajo de investigación de Bachillerato. IES Escola Municipal del Treball Granolers. La Habana – Cuba. 63 p.

- Logan, N. A., & Vos, P. D. (2015). *Bacillus*. In W. B. Whitman (Ed.), *Bergey's Manual of Systematics of Archaea and Bacteria* (pp. 1-163). Wiley.
<https://doi.org/10.1002/9781118960608.gbm00543>
- López-Aguirre, J. F., Pomaquero-Yuquilema, J. C., & López-Salazar, J. L. (2020). Análisis de la contaminación ambiental por plásticos en la ciudad de Riobamba. *Polo del Conocimiento*, 5(12), 725–742.
- Márquez, A. C. (2019). Viabilidad de la biodegradación de polietileno y poliuretano por la polilla de la cera (*Galleria mellonella*): Factores que afectan tasas de degradación y supervivencia. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10554/44251>
- Ministerio del Ambiente. (2023). Problemática de los residuos plásticos en el Perú. Gobierno del Perú. <https://www.gob.pe/58443-problematika>
- Mohamed, A. A., Ansari, M. J., Al-Ghamdi, A., Mohamed, M. O., & Kaur, M. (2014). Efecto de la nutrición larval en el desarrollo y mortalidad de *Galleria mellonella* (Lepidoptera: Pyralidae). *Revista Colombiana de Entomología*, 40(1), 49–54.
<https://link.gale.com/apps/doc/A393350129/IFME?u=anon~87f877&sid=google Scholar&xid=1220f240>
- Mohamed, M., & Coppel, H. (1983). Mass rearing of the greater wax moth, *Galleria mellonella* (Lepidoptera: Pyralidae), for small-scale laboratory studies. *The Great Lakes Entomologist*, 16(4), 139–141.
<https://scholar.valpo.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1476&context=tgle>
- Molero (2023). Evaluación del consumo de polietileno de baja densidad-PEBD por larvas *Galleria mellonella* (Lepidoptera: Pyralidae) bajo condiciones térmicas controladas, Cusco
<https://repositorio.uandina.edu.pe/backend/api/core/bitstreams/f22a7eef-89ae-42f4-9ab2-775bb5dd6f63/content>

- Oceana Perú. (2023). Basura plástica: el impacto de los residuos en el mar peruano. <https://peru.oceana.org/informes/basura-plastica-el-impacto-de-los-residuos-en-el-mar-peruano/>
- OECD(2002). Biodégradation. (pág. 12) Glossary of Environment Statistics, Studies
- Organización Panamericana de la Salud. (2023). Ambiente controlado. Descriptores en Ciencias de la Salud – DeCS. <https://decs.bvsalud.org/es/ths/resource/?id=4860>
- Parisaca Aliaga, D. N., & Rodriguez Alvarez, Y. J. (2023). Biodegradación de polietileno de baja densidad (PEBD) mediante larvas (*Tenebrio molitor*) a diferentes temperaturas, Lima, 2023 [Tesis para optar al título profesional de Ingeniera Ambiental, Universidad Privada del Norte]. Repositorio Institucional UPN. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/39203>
- Poznyak, T., Chairez, I., & Poznyak, A. (2019). Biodegradation. In *Ozonation and Biodegradation in Environmental Engineering* (pp. 353-388). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812847-3.00023-8>
- Restrepo, A., Arias, P., & Soto, A. (2019). Efecto de diferentes fuentes de miel en la cría de *Galleria mellonella* (Lepidoptera: Pyralidae) para la multiplicación de nematodos entomopatógenos. *Boletín Científico. Centro de Museos. Museo de Historia Natural*, 23(1), 73-81. <https://doi.org/10.17151/bccm.2019.23.1.4>
- Ricce, B. U., & Beraun, J. E. (2022). Biodegradación de polietileno de baja densidad - PEBD por acción metabólica del lepidóptero *Galleria mellonella* reutilizando residuos de apicultura [Tesis de licenciatura, Universidad Peruana Unión]. Repositorio Institucional UPeU. <https://repositorio.upeu.edu.pe/items/476cdb14-6676-41ac-b460-33d56d72a747>
- Rodríguez-Carreón, A., Ortiz-Rivera, Y., Hernández-Peña, C. C., & Figueroa, C. (2021). Biodegradación de espumas plásticas por larvas de insectos: ¿una

estrategia sustentable? TIP. Revista especializada en ciencias químico-biológicas, 24, e311. Epub 15 de noviembre de 2021.

<https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2021.311>

Royer, S. J., Ferrón, S., Wilson, S. T., & Karl, D. M. (2018). Production of methane and ethylene from plastic in the environment. PLoS ONE, 13(8), e0200574. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0200574>

Sapieri, H. (2014). Hernan Sapieri Metodología de investigación (sexta edición).

Sha, Z., & Fariha, A. (2008). Microorganismos y su papel en la biodegradación de plásticos sintéticos y naturales. Environmental Research Letters, 3(5), 201-211.

Silby, M. W., Winstanley, C., Godfrey, S. A. C., Levy, S. B., & Jackson, R. W. (2011). Pseudomonas genomes: Diverse and adaptable. FEMS Microbiology Reviews, 35(4), 652–680. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6976.2011.00269.x>

Song, J. H., et al. (2015). Mecanismos de biodegradación de plásticos: Hidrobiodegradación y oxobiodegradación. Polymer Science and Technology, 14(3), 140-152.

Suresh, K., & Chandrabanda, T. (2019). First report on biodegradation of low density polyethylene by rice moth larvae, *Corcyra cephalonica* (Stainton) [Primer informe sobre la biodegradación de polietileno de baja densidad por larvas de polilla del arroz, *Corcyra cephalonica* (Stainton)]. The Holistic Environment, 9(4), 79-83. <https://hrcak.srce.hr/file/333534>

Tamayo y Tamayo, M. (2015). El proceso de la investigación científica. Limusa.

Taya. (2021). Biodegradación del polietileno mediante *Galleria mellonella*. Revista de Investigación Taya, 2(2), 15–24. <https://revistas.unat.edu.pe/index.php/RevTaya/article/view/45>

- Tokiwa, Y. (2009). Microorganismos en la biodegradación de plásticos y sus aplicaciones industriales. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 39(1), 42-51.
- Webster (2019). Larva. (p. 13). Editorial: Dictionary The Merriam.
- Wojda, I., Staniec, B., Sulek, M., & Kordaczuk, J. (2020). The greater wax moth *Galleria mellonella*: Biology and use in immune studies. *Pathogens and Disease*, 78(9).
<https://doi.org/10.1093/femspd/ftaa057>
- Zumbado, M., & Azofeifa, D. (2018). Insectos de Importancia Agrícola. Guía Básica de Entomología (1a edición). Programa Nacional de Agricultura Orgánica (PNAO).
<http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/H10-10951.pdf>
- Zurovec, M., & Sehnal, F. (2002). *Galleria mellonella* heavy-chain fibroin (Fib-H) gene, partial cds. Recuperado de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/AH009792.2>