

UNIVERSIDAD DE HUANUCO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERIA AMBIENTAL



TESIS

**“Comparación de la eficacia de dos soluciones biológicas
mediante el uso de las larvas *Zophobas morio* y *Galleria
mellonella* para la degradación de bolsas de polietileno de baja
densidad”**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERA
AMBIENTAL**

AUTORA: Vélez Gutierrez, Angie Ashly Emely

ASESOR: Zacarías Ventura, Héctor Raúl

HUÁNUCO – PERÚ

2026

TIPO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN:

- Tesis (X)
- Trabajo de Suficiencia Profesional()
- Trabajo de Investigación ()
- Trabajo Académico ()

LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN: Contaminación Ambiental
AÑO DE LA LÍNEA DE INVESTIGACIÓN (2020)

CAMPO DE CONOCIMIENTO OCDE:

Área: Ingeniería, Tecnología

Sub área: Ingeniería ambiental

Disciplina: Ingeniería ambiental y geológica

DATOS DEL PROGRAMA:

Nombre del Grado/Título a recibir: Título

Profesional de Ingeniera ambiental

Código del Programa: P09

Tipo de Financiamiento:

- Propio (X)
- UDH ()
- Fondos Concursables ()

DATOS DEL AUTOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 72871702

DATOS DEL ASESOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 22515329

Grado/Título: Doctor en ciencias de la educación

Código ORCID: 0000-0002-7210-5675

DATOS DE LOS JURADOS:

Nº	APELLIDOS Y NOMBRES	GRADO	DNI	Código ORCID
1	Camara Llanos, Frank Erick	Maestro en ciencias de la salud con mención en: salud pública y docencia universitaria	44287920	0000-0001-9180-7405
2	Inga Caqui, Jhendy Milagros	Maestro en medio ambiente y desarrollo sostenible	72361661	0009-0006-2217-1494
3	Valdivia Martel, Perfecta Sofía	Maestro en Ingeniería, con mención en Gestión Ambiental y. Desarrollo Sostenible	43616954	0000-0002-7194-3714



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO

Facultad de Ingeniería

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA AMBIENTAL

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO(A) AMBIENTAL

En la ciudad de Huánuco, siendo las 17:00 horas del día 18 del mes de junio del año 2026, en cumplimiento de lo señalado en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad de Huánuco, se reunieron el sustentante y el **Jurado Calificador** integrado por los docentes:

- Dr. Frank Erick Camara Llanos (Presidente)
- Mg. Jhenny Milagros Inga Caqui (Secretario)
- Mg. Perfecta Sofia Valdivia Martel (Vocal)

Nombrados mediante la **Resolución N° 1051-2026-D-FI-UDH** para evaluar la Tesis intitulada: "Comparación de la eficacia de dos soluciones biológicas mediante el uso de las larvas *Zophobas morio* y *Galleria mellonella* para la degradación de bolsas de polietileno de baja densidad", presentado por el (la) Bach. **VELÉZ GUTIERREZ, ANGIE ASHLY EMELY** para optar el Título Profesional de Ingeniero(a) Ambiental.

Dicho acto de sustentación se desarrolló en dos etapas: exposición y absolución de preguntas: procediéndose luego a la evaluación por parte de los miembros del Jurado.

Habiendo absuelto las objeciones que le fueron formuladas por los miembros del Jurado y de conformidad con las respectivas disposiciones reglamentarias, procedieron a deliberar y calificar, declarándolo(a) aprobado Por unanimidad con el calificativo cuantitativo de 1.7 y cualitativo de muy bueno. (Art. 47)

Siendo las 18:15 horas del día 18 del mes de junio del año 2026, los miembros del Jurado Calificador firman la presente Acta en señal de conformidad.

Dr. Frank Erick Camara Llanos
DNI: 44287920
ORCID: 0000-0001-9180-7405
Presidente

Mg. Jhenny Milagros Inga Caqui
DNI: 72361661
ORCID: 0009-0006-2217-1494
Secretario

Mg. Perfecta Sofia Valdivia Martel
DNI: 43616954
ORCID: 0000-0002-7194-3714
Vocal



UDH
UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO
<http://www.udh.edu.pe>

UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

El comité de integridad científica, realizó la revisión del trabajo de investigación del estudiante: **ANGIE ASHLY EMELY VÉLEZ GUTIERREZ**, de la investigación titulada "**Comparación de la eficacia de dos soluciones biológicas mediante el uso de las larvas *Zophobas morio* y *Galleria mellonella* para la degradación de bolsas de polietileno de baja densidad**", con asesor(a): **HÉCTOR RAÚL ZACARÍAS VENTURA**, designado(a) mediante documento: **RESOLUCIÓN N° 625-2023-D-FI-UDH** del P. A. de INGENIERÍA AMBIENTAL.

Puede constar que la misma tiene un índice de similitud del **19 %** verificable en el reporte final del análisis de originalidad mediante el Software Turnitin.

Por lo que concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio y cumple con todas las normas de la Universidad de Huánuco.

Se expide la presente, a solicitud del interesado para los fines que estime conveniente.

Huánuco, 28 de mayo de 2026



MANUEL E. ALIAGA VIDURIZAGA
D.N.I.: 71345687
cod. ORCID: 0009-0004-1375-5004

Nota: La presente constancia tendrá una **vigencia de cuatro (4) meses**, conforme a lo establecido en la **Directiva del Software de Identificación de Similitud y Originalidad**, aprobada mediante **Resolución N° 532-2024-P-CD-UDH**.

Vencido dicho plazo, el solicitante deberá realizar nuevamente el procedimiento correspondiente para la emisión de una nueva constancia.

Válida hasta el 28 de septiembre de 2026.

Jr. Hermilio Valdizán N° 871 - Jr. Progreso N° 650 - Teléfono: 952 069 844
Huánuco - Perú

108. ANGIE ASHLY EMELY VÉLEZ GUTIERREZ.docx

INFORME DE ORIGINALIDAD

19%

INDICE DE SIMILITUD

18%

FUENTES DE INTERNET

5%

PUBLICACIONES

7%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

repositorio.udh.edu.pe

Fuente de Internet

6%

2

hdl.handle.net

Fuente de Internet

2%

3

repositorio.ucss.edu.pe

Fuente de Internet

1%

4

repositorio.unprg.edu.pe

Fuente de Internet

1%

5

repositorio.ulvr.edu.ec

Fuente de Internet

1%



MANUEL E. ALIAGA VIDURIZAGA
D.N.I.: 71345687
cod. ORCID: 0009-0004-1375-5004

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de investigación a mi padre bondadoso y poderoso Dios, por todas las obras que ha realizado en mi persona y que sigue haciendo. Sé que con Él todo lo pude, lo puedo y lo podré.

A mis padres, José y Esther, por todo su apoyo incondicional y por ser quienes me forjaron con carácter, sabiduría y amor.

A mis personas favoritas que aún están presentes en la tierra y a aquellos que partieron al camino eterno, por todo el valor, los consejos y el orgullo que sentían por mí; sé que no los defraudé.

A mis docentes, por impartirme conocimientos y empoderar a mi yo estudiante para seguir desarrollando sus capacidades y habilidades.

Finalmente, pero no menos importante, a todas las personas y hermanos en la fe que siguen orando por mí y por mi éxito.

Las palabras no son las mejores, pero sé que las acciones dicen mucho de mi profundo agradecimiento, recordando siempre que la vida está llena de dificultades, pero todo lo puedo en Cristo.

AGRADECIMIENTO

A Dios, por ser mi guía constante, mi fuente de fortaleza, sabiduría y esperanza, por acompañarme en cada paso de este camino y permitirme culminar esta etapa tan importante de mi vida.

A mis padres José y Esther, a mi abuelita Carmen, por su amor infinito, sus sacrificios silenciosos, por enseñarme el valor del esfuerzo, la perseverancia, la humildad por sobre todo lo que su niña puede alcanzar, y por ser mi pilar incondicional en todo momento.

A mis personas favoritas, las que aún están presentes y las que ya partieron. A las primeras, por su apoyo incondicional y por creer siempre en mí sin importar la distancia. A las segundas, porque desde el cielo me guían y en vida me llenaron de valor y orgullo, siempre los llevo presente. Sepan que no los defraudé: cada logro mío también es de ustedes.

A mis mascotas, fieles compañeros que estuvieron conmigo en las madrugadas de estrés académico, acompañándome en silencio con su mirada tierna y su calidez. Sin palabras, me dieron fuerzas para seguir. Gracias por su amor incondicional.

A todos mis docentes, por compartir generosamente sus conocimientos, por su paciencia y dedicación, y por empoderarme como profesional para seguir desarrollando mis capacidades y habilidades al servicio del cuidado del ambiente.

Finalmente, a todos los que creyeron en mí cuando yo dudaba: este logro también es suyo y a quienes hicieron posible la ejecución de esta investigación y colaboraron de una u otra forma para su culminación.

ÍNDICE

DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTO	III
ÍNDICE.....	IV
ÍNDICE DE TABLAS	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	VII
ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS	VIII
RESUMEN	IX
ABSTRACT	X
INTRODUCCIÓN	XI
CAPITULO I PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	13
1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	13
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	17
1.2.1 PROBLEMA GENERAL	17
1.2.2 PROBLEMAS ESPECÍFICOS	17
1.3 OBJETIVO GENERAL	17
1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
1.5 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	18
1.6 LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN	19
1.7 VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN	20
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO.....	22
2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	22
2.1.1 ANTECEDENTES INTERNACIONALES	22
2.1.2 ANTECEDENTES NACIONALES	24
2.1.3 ANTECEDENTES REGIONALES	28
2.2 BASES TEÓRICAS	31
2.2.1. SOLUCIONES BIOLÓGICAS.....	31
2.2.2. DEGRADACIÓN DE BOLSAS DE POLIETILENO.....	40
2.3 DEFINICIONES CONCEPTUALES:.....	50
2.4 HIPÓTESIS	51
2.5 VARIABLES	52
2.5.1. VARIABLE DE CALIBRACIÓN	52

2.5.2. VARIABLE EVALUATIVA	52
2.6 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	53
CAPÍTULO III MÉTODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	55
3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN	55
3.1.1 ENFOQUE	55
3.1.2 ALCANCE O NIVEL	56
3.1.3 DISEÑO	56
3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA.....	58
3.2.1 POBLACIÓN	58
3.2.2 MUESTRA	58
3.3 TÉCNICAS E INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS	61
3.3.1 PARA LA PRESENTACIÓN DE DATOS	63
3.3.2 TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.....	63
CAPÍTULO IV RESULTADOS	65
4.1 PROCESAMIENTO DE DATOS.....	65
4.2 CONTRASTACIÓN Y PRUEBA DE HIPÓTESIS	77
CAPÍTULO V DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	80
CONCLUSIONES	82
RECOMENDACIONES.....	84
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	86
ANEXOS.....	93

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Coordenadas UTM WGS-84 del mercadillo de las Moras.....	60
Tabla 2	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	61
Tabla 3	Técnicas para el procesamiento y análisis de la información	64
Tabla 4	Peso total de las larvas (gr) Zophobas morio y Galleria mellonella en condiciones controladas	65
Tabla 5	Peso total de las excretas (gr) de Zophobas morio y Galleria mellonella en condiciones controladas	67
Tabla 6	Peso total del polietileno expuestas a excretas (gr) de Zophobas morio y Galleria mellonella en condiciones controladas	69
Tabla 7	Porcentaje de degradación al usar Zophobas morio y Galleria mellonella en condiciones controladas	71
Tabla 8	Humedad ambiental al usar Zophobas morio y Galleria mellonella en condiciones controladas	73
Tabla 9	Temperatura ambiental al usar Zophobas morio y Galleria mellonella en condiciones controladas	75
Tabla 10	Prueba de normalidad con Shapiro Wilk	77
Tabla 11	Prueba de hipótesis con t de Student y ANOVA	78

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Zophobas morio	33
Figura 2 Ciclo de vida del Zophobas morio.....	35
Figura 3 Galleria meronella.....	37
Figura 4 Peso total de las larvas (gr) Zophobas morio y Galleria mellonella en condiciones controladas	66
Figura 5 Peso total de las excretas (gr) de Zophobas morio y Galleria mellonella en condiciones controladas	68
Figura 6 Peso total del polietileno expuestas a excretas (gr) de Zophobas morio y Galleria mellonella en condiciones controladas	70
Figura 7 Porcentaje de degradación al usar Zophobas morio y Galleria mellonella en condiciones controladas	72
Figura 8 Humedad ambiental al usar Zophobas morio y Galleria mellonella en condiciones controladas	74
Figura 9 Temperatura ambiental al usar Zophobas morio y Galleria mellonella en condiciones controladas	76

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1 Preparación de polietileno de baja densidad para la degradación experimental con <i>Galleria mellonella</i> y <i>Zophobas morio</i>	106
Fotografía 2 Pesaje polietileno de baja densidad para la degradación experimental con <i>Galleria mellonella</i> y <i>Zophobas morio</i>	106
Fotografía 3 Pesaje polietileno de baja densidad para la degradación experimental con <i>Galleria mellonella</i> y <i>Zophobas morio</i>	107
Fotografía 4 Pesaje de <i>Galleria mellonella</i> y <i>Zophobas morio</i> para cada unidad de estudio	107
Fotografía 5 Registro y monitoreo de los tratamientos experimentales con <i>Galleria mellonella</i> y <i>Zophobas morio</i>	108
Fotografía 6 Disposición experimental del plástico fragmentado para la alimentación de <i>Galleria mellonella</i> y <i>Zophobas morio</i>	108
Fotografía 7 Medición de <i>Galleria mellonella</i> y <i>Zophobas morio</i>	109
Fotografía 8 Proceso de cernir para separar excretas y pesaje de las mismas	109
Fotografía 9 Montaje general del experimento con tratamientos y controles	110
Fotografía 10 Visita técnica de verificación y seguimiento del proyecto de tesis por parte de la Mg. Inga Caqui Jhendy Milagros.....	110
Fotografía 11 Visita técnica de verificación y seguimiento del proyecto de tesis por parte de la Mg. Frank Erick Camara Llanos.....	111
Fotografía 12 Visita técnica de verificación y seguimiento del proyecto de tesis por parte de la Mg. Joel Gamez Penadillo	111
Fotografía 13 Micrografía electrónica de barrido (SEM) de las excretas de <i>Zophobas morio</i> tras la degradación de polietileno de baja densidad (PEBD)	112

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo comparar la eficacia de las larvas *Zophobas morio* y *Galleria mellonella* en la degradación de bolsas plásticas de polietileno de baja densidad (PEBD) en condiciones experimentales, en el laboratorio de la Universidad de Huánuco, durante un periodo de 30 días. El estudio se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, con diseño experimental y alcance comparativo. Se establecieron 9 unidades experimentales distribuidas en bandejas, conformándose 4 grupos con *Zophobas morio* y 4 grupos con *Galleria mellonella* (75 larvas por unidad experimental), además de un grupo control sin intervención biológica; cada unidad experimental contuvo PEBD como sustrato de evaluación.

La degradación del PEBD se determinó mediante la variación de peso del material (peso inicial y peso final), calculándose el porcentaje de degradación y considerando el comportamiento del grupo control para estimar la degradación atribuible a la acción biológica de las larvas. Como indicadores complementarios se registraron la biomasa larval y la producción de excretas, asociadas al consumo del polímero. El procesamiento estadístico se realizó en SPSS, aplicándose la prueba t de Student y ANOVA de medidas repetidas para evaluar diferencias entre grupos y la evolución a lo largo del tiempo.

Los resultados evidenciaron mayor degradación del PEBD en *Zophobas morio* (7.81%) en comparación con *Galleria mellonella* (4.34%), mientras que el grupo control presentó una disminución mínima (0.263%). Asimismo, *Zophobas morio* mostró mayor incremento de biomasa y mayor producción de excretas, sugiriendo una actividad alimentaria superior. En conclusión, *Zophobas morio* demostró mayor eficacia degradativa del PEBD en las condiciones evaluadas, por lo que representa una alternativa biológica con potencial para investigaciones aplicadas orientadas a la biorremediación de residuos plásticos.

Palabras clave: PEBD, biodegradación, *Zophobas morio*, *Galleria mellonella*, larvas, biorremediación.

ABSTRACT

This study aimed to compare the effectiveness of *Zophobas morio* and *Galleria mellonella* larvae in the degradation of low-density polyethylene (LDPE) plastic bags under experimental conditions in the laboratory of the Universidad de Huánuco over a 30-day period. A quantitative approach with an experimental and comparative design was applied. Nine experimental units were established (trays), including four groups with *Zophobas morio* and four groups with *Galleria mellonella* (75 larvae per experimental unit), as well as one control group without larvae; LDPE was used as the substrate for evaluation in each unit.

LDPE degradation was measured through changes in material weight (initial and final weight), and the percentage of degradation was calculated considering the control group to estimate the degradation attributable to larval biological activity. Complementary indicators such as larval biomass variation and frass (feces) production were also recorded as measures associated with polymer consumption. Statistical analysis was performed using SPSS, applying Student's t-test and repeated-measures ANOVA to assess differences between groups and changes over time.

The results showed higher LDPE degradation in *Zophobas morio* (7.81%) compared with *Galleria mellonella* (4.34%), while the control group exhibited minimal reduction (0.263%). In addition, *Zophobas morio* displayed a greater increase in biomass and higher frass production, suggesting higher feeding activity. It is concluded that *Zophobas morio* demonstrated greater LDPE degradation efficiency under the evaluated conditions, representing a biological alternative with potential for applied research on plastic waste bioremediation.

Keywords: LDPE, biodegradation, *Zophobas morio*, *Galleria mellonella*, larvae, bioremediation.

INTRODUCCIÓN

La creciente acumulación de residuos plásticos, especialmente los derivados del polietileno de baja densidad (PEBD), representa uno de los principales problemas ambientales a nivel mundial. Este material es ampliamente utilizado debido a su bajo costo y alta resistencia, pero su lenta degradación genera impactos negativos en el suelo, el agua y la biodiversidad. Frente a esta problemática, surge la necesidad de explorar alternativas biológicas que permitan reducir la acumulación de residuos plásticos mediante procesos de biodegradación más eficientes y sostenibles.

En los últimos años, diversas investigaciones han demostrado que ciertos organismos, como las larvas de *Galleria mellonella* y *Zophobas morio*, poseen la capacidad de consumir y degradar polímeros sintéticos debido a las enzimas presentes en su sistema digestivo. Este hallazgo ha abierto nuevas posibilidades para el desarrollo de soluciones biológicas enfocadas en la biorremediación de plásticos de uso común.

La presente investigación, titulada “Comparación de la eficacia de dos soluciones biológicas mediante el uso de las larvas *Zophobas morio* y *Galleria mellonella* para la degradación de bolsas de polietileno de baja densidad”, tuvo como propósito comparar el potencial degradativo de ambas especies. Para ello, se aplicó un enfoque cuantitativo y experimental que permitió evaluar, bajo condiciones controladas, el comportamiento alimenticio de las larvas y el nivel de reducción del material plástico expuesto.

La creciente acumulación de residuos plásticos, especialmente los derivados del polietileno de baja densidad (PEBD), constituye uno de los principales problemas ambientales a nivel mundial. Este polímero es ampliamente utilizado por su bajo costo, ligereza y resistencia, principalmente en bolsas de un solo uso; sin embargo, su lenta degradación favorece la persistencia del material en el ambiente, afectando el suelo, los cuerpos de agua y la biodiversidad. En este escenario, se vuelve imprescindible impulsar alternativas sostenibles que complementen o mejoren los métodos tradicionales de manejo de residuos, orientándose a procesos que reduzcan la permanencia del plástico en el ambiente.

En los últimos años, diferentes estudios han reportado la capacidad de

algunos organismos de interactuar con polímeros sintéticos, destacando el interés científico en larvas de insectos como *Galleria mellonella* y *Zophobas morio*. Se ha señalado que estas especies pueden consumir y fragmentar ciertos plásticos, lo cual se asocia a su actividad digestiva y a la participación de microorganismos intestinales, abriendo posibilidades para el desarrollo de estrategias de biorremediación con enfoque biológico. En consecuencia, resulta relevante evaluar de forma experimental el desempeño comparativo de especies biodegradadoras frente a materiales de alta presencia en el entorno, como el PEBD.

En este marco, la presente investigación titulada “Comparación de la eficacia de dos soluciones biológicas mediante el uso de las larvas *Zophobas morio* y *Galleria mellonella* para la degradación de bolsas de polietileno de baja densidad” tuvo como propósito comparar el potencial degradativo de ambas especies bajo condiciones controladas de laboratorio en la Universidad de Huánuco. Para ello, se empleó un enfoque cuantitativo, con diseño experimental y alcance comparativo, organizado en nueve unidades experimentales: cuatro grupos con *Zophobas morio*, cuatro grupos con *Galleria mellonella* y un grupo control sin larvas.

La relevancia del estudio se sustenta en la necesidad de generar evidencia científica que contribuya a la gestión ambiental de residuos plásticos, especialmente en contextos donde el uso de bolsas de PEBD es frecuente. Asimismo, los hallazgos permiten orientar futuras investigaciones para optimizar condiciones experimentales y evaluar la factibilidad de aplicar soluciones biológicas en escenarios de mayor escala. En ese sentido, los resultados no solo aportan datos comparativos sobre la capacidad degradativa de ambas especies, sino que también sirven como base para plantear alternativas de mitigación ambiental con enfoque sostenible.

Finalmente, el informe se estructura en capítulos que presentan: el planteamiento del problema y objetivos, el marco teórico y antecedentes, la metodología experimental, los resultados obtenidos, la discusión sustentada en literatura científica, y las conclusiones y recomendaciones derivadas del estudio.

CAPITULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La situación actual de los desechos orgánicos e inorgánicos es una preocupación a nivel mundial, ya que se están generando y acumulando en grandes cantidades debido a su manejo inadecuado, lo que afecta de manera negativa la salud del entorno ambiental y de los individuos. Desde el surgimiento de la humanidad, los desechos han sido una consecuencia de las diversas actividades humanas, la sobrepoblación y el consumo desmedido, lo que ha producido miles de toneladas de desechos a nivel global. Debido a ello se ha evidenciado daños de los entornos ambientales, como el deterioro de los paisajes, el aumento de vectores que transmite enfermedades, la pérdida de la vida marina, entre otros. Pero más aun las emisiones de gases de efecto invernadero. Es necesario especificar que estos daños como consecuencia inician serios problemas para la salud de la humanidad y el entorno medioambiental, sin embargo, no debemos olvidar que todas las consecuencias que estamos evidenciando es debido a una deficiencia en la gestión adecuada de los residuos y la formación de vertederos no autorizados y puntos críticos.

La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE, 2022) informó que la producción mundial de plásticos alcanzó aproximadamente 460 millones de toneladas en el año 2019, duplicando la cifra registrada en el año 2000. Este crecimiento sostenido en la producción se ha asociado directamente al aumento del consumo, especialmente en los sectores de envases y embalajes. Según el mismo informe, alrededor del 40 % del total producido corresponde a plásticos utilizados en empaques de un solo uso, entre los que se encuentra el polietileno de baja densidad (PEBD), empleado ampliamente en bolsas plásticas comerciales. Estos plásticos, debido a su bajo costo y facilidad de fabricación han contribuido significativamente a la generación de residuos persistentes, lo cual representa un desafío ambiental urgente a nivel global.

Según el portal Our World in Data, en su análisis sobre contaminación por plásticos, se estima que más de un tercio de toda la producción global de

plásticos está destinada a empaques de un solo uso (Our World in Data, 2022). Este tipo de productos como las bolsas de polietileno tienen una vida útil extremadamente corta, en muchos casos de solo minutos, pero pueden tardar cientos de años en degradarse. Además, el informe resalta que una parte considerable de estos plásticos no se recicla ni se gestiona adecuadamente, sino que terminan en vertederos, cuerpos de agua o dispersos en el entorno. Esta situación agrava la crisis de residuos y evidencia la necesidad de alternativas sostenibles de tratamiento y reducción del consumo de este material.

El GRUPO BANCO MUNDIAL (2018), Señala que la gestión de los desechos sólidos representa un reto global que afecta a todos los habitantes de la tierra. En las naciones de ingresos bajos más del 90% de los desechos se degradan de forma inadecuada, lo que impacta en mayor proporción a las poblaciones pobres y vulnerables, esta mala gestión produce alta contaminación en los mares, problemas en los desagües, inundaciones, diseminación de patógenos, daños en el sistema respiratorio a causa de la incineración de los residuos, daño a la fauna que se alimentan de desechos e impacto en el ámbito económico. Además, los gases de efecto invernadero producidos por los residuos son una causa significativa del deterioro climático, representando el 5% de las emisiones globales en 2016, sin incluir el transporte.

De acuerdo con OUR NEWS (2018), en Perú se generan más de 18 mil toneladas de desechos cada día, de los cuales únicamente se recicla el 15%. Cada año, se producen más de 7 millones y medio de toneladas de residuos sólidos, siendo el 64% de origen domiciliario, dichos datos obtenidos del MINAM 2015 (Ministerio del Ambiente) podrían ir en aumento según pasa el tiempo, en especial en Lima, la ciudad con más población con cerca a los 10 millones de individuos, donde se producen un aproximado de 8.468 toneladas por día de basura, lo que representa el 47% del total. Sin embargo, solo se reciclan el 4%. La Capital tiene la huella ecológica más elevada, sobrepasando los límites establecidos. Según la proyección del Banco Mundial, para el año 2025 se estarían produciendo hasta 36 mil toneladas de residuos por día.

En el Perú, el consumo de plásticos también representa una

preocupación creciente. De acuerdo con datos del MINAM, citados por Oceana (2023), el país genera anualmente más de 1.2 millones de toneladas de residuos plásticos, de las cuales solo un 10 % es reciclado. Lima y Callao concentran cerca del 46 % de este volumen, con más de 886 toneladas diarias. Además, se estima que al menos el 25 % del plástico consumido en el país corresponde al polietileno de baja densidad (PEBD), utilizado principalmente en bolsas plásticas de un solo uso. Este alto consumo, sumado a una baja tasa de reciclaje, refleja la urgencia de implementar estrategias eficaces para mitigar su impacto ambiental y promover soluciones innovadoras como las biodegradativas.

El Perú cuenta con un marco normativo que busca regular el uso de plásticos de un solo uso, especialmente las bolsas de polietileno. La Ley N.º 30884, promulgada en el año 2018, establece medidas para la reducción progresiva de estos materiales y su eventual sustitución por opciones reutilizables o biodegradables (MINAM, 2021). No obstante, los informes institucionales del propio MINAM advierten que a pesar de los avances normativos, la implementación efectiva de esta ley es aún limitada en muchas regiones del país. Esta brecha entre legislación y aplicación real ha permitido que el polietileno siga acumulándose en espacios públicos y ecosistemas, manteniéndose como una de las principales fuentes de contaminación urbana y rural.

MINSA (2014), en sus investigaciones indica que cerca de 100 toneladas de desechos sólidos se depositan a diario en el vertedero de Huánuco, se estima que cada habitante de Huánuco y sus alrededores desecha entre 0.50 y 0.60 kg de basura. A nivel nacional, solo el 19.3% de los residuos sólidos municipales se gestionan adecuadamente en los pozos sanitarios. El informe nacional sobre la gestión de los residuos sólidos indica que únicamente un 26% se disponen correctamente, determinado que el distrito de Huánuco es el mayor generador seguido por Amarilis y Pillco marca.

Según el Diario Correo (2015), los distritos de Huánuco, Amarilis, Pillco Marca y Santa María del Valle generan una considerable cantidad de residuos sólidos alcanzando aproximadamente 120 mil toneladas diarias, lo que equivale a 43,800 toneladas anuales. Esta problemática ambiental se ha intensificado en los últimos años debido al incremento en la producción de

desechos, influenciado por el crecimiento poblacional y el consumo de bienes de un solo uso. La inadecuada disposición final de estos residuos contribuye a la contaminación del suelo, el agua y el aire, afectando la calidad de vida de los habitantes de la región y evidenciando la urgente necesidad de implementar estrategias sostenibles para la reducción y el tratamiento adecuado.

En la ciudad de Huánuco, el Mercado Privado de Las Moras es uno de los principales puntos de comercio, donde el uso de bolsas plásticas es una práctica común. La ausencia de una gestión eficiente de residuos plásticos ha generado un incremento en la acumulación de polietileno en los alrededores del mercado y en botaderos informales, contribuyendo a la contaminación del suelo y cuerpos de agua cercanos (Municipalidad Provincial de Huánuco, 2021).

A pesar de las iniciativas municipales para reducir el consumo de plásticos, la falta de alternativas accesibles y el desconocimiento sobre los efectos ambientales agravan la problemática. Frente a esta situación, la aplicación de estrategias biotecnológicas como la degradación de polietileno mediante las larvas, específicamente *Zophobas morio* y *Galleria mellonella*, podría ofrecer una alternativa viable para la reducción de residuos plásticos en la zona.

El sistema digestivo de estas larvas (*Zophobas morio* y *Galleria mellonella*) contiene enzimas y bacterias específicas, como oxidasas, esterase y *Pseudomonas*, *Enterobacter*, que poseen enzimas capaces de fragmentar el polietileno en compuestos de menor peso molecular, permitiendo su posterior asimilación y conversión en biomasa. Se ha demostrado que estas larvas pueden consumir polietileno sin efectos negativos en su desarrollo, lo que sugiere una adaptación evolutiva para aprovechar compuestos sintéticos como fuente de carbono (Bombelli et al., 2017).

Asimismo, estas larvas (*Zophobas morio* y *Galleria mellonella*) ofrecen una alternativa biotecnológica para la mitigación de residuos plásticos.

Estudios han indicado que estos insectos pueden reducir significativamente el peso y volumen del polietileno en condiciones controladas, lo que sugiere su potencial aplicación en programas de

biodegradación de residuos sólidos urbanos. Sin embargo, se requieren más investigaciones para optimizar su eficiencia en diferentes condiciones naturales y comprender los subproductos generados durante el proceso de degradación.

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1 PROBLEMA GENERAL

¿Cuál es la eficacia comparativa de dos soluciones biológicas mediante el uso de las larvas *Zophobas morio* y *Galleria mellonella* para la degradación de bolsas de polietileno de baja densidad?

1.2.2 PROBLEMAS ESPECÍFICOS

¿Cuál es la diferencia en el tiempo de degradación del polietileno de baja densidad entre las larvas *Zophobas morio* y *Galleria mellonella* bajo condiciones controladas?

¿Qué variaciones se observan en los parámetros físicos del polietileno de baja densidad durante su degradación por las larvas *Zophobas morio* y *Galleria mellonella*?

¿Cuál es la capacidad degradativa de la larva *Zophobas morio* sobre bolsas de polietileno de baja densidad en condiciones controladas?

¿Cuál es la capacidad degradativa de la larva *Galleria mellonella* sobre bolsas de polietileno de baja densidad en condiciones controladas?

1.3 OBJETIVO GENERAL

Determinar la eficacia comparativa de dos soluciones biológicas mediante el uso de las larvas *Zophobas morio* y *Galleria mellonella* para la degradación de bolsas de polietileno de baja densidad.

1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Comparar el tiempo de degradación del polietileno de baja densidad por las larvas *Zophobas morio* y *Galleria mellonella* en condiciones controladas.

Evaluar las variaciones en los parámetros físicos del polietileno de baja densidad durante su exposición a las larvas *Zophobas morio* y *Galleria*

mellonella.

Determinar la capacidad degradativa de la larva *Zophobas morio* sobre bolsas de polietileno de baja densidad en condiciones controladas.

Determinar la capacidad degradativa de la larva *Galleria mellonella* sobre bolsas de polietileno de baja densidad en condiciones controladas.

1.5 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

El uso extendido del polietileno de baja densidad representa una de las principales fuentes de contaminación ambiental, debido a su resistencia a la degradación natural y al limitado compromiso de las autoridades responsables de su adecuada gestión. Esta problemática se intensifica en regiones como Huánuco, donde la acumulación de residuos plásticos afecta tanto al entorno natural como a la salud pública, al favorecer la proliferación de vectores transmisores de enfermedades.

Enfoque Teórico

Desde un punto de vista científico, esta investigación busca aportar evidencia experimental sobre el potencial biodegradativo de las larvas *Zophobas morio* y *Galleria mellonella* aplicadas a la degradación de bolsas de polietileno de baja densidad. Aunque existen antecedentes internacionales que han demostrado la capacidad de ciertos insectos para fragmentar polímeros sintéticos mediante enzimas presentes en su sistema digestivo, en el contexto peruano —y particularmente en la región Huánuco— se evidencia una notable escasez de estudios empíricos que aborden esta línea de investigación desde un enfoque biológico aplicado. Esta carencia justifica la necesidad de desarrollar propuestas contextualizadas, que puedan enriquecer el cuerpo teórico y científico existente sobre soluciones biológicas para la gestión de residuos plásticos.

Enfoque Practico

En el plano práctico y ambiental, el estudio responde a una problemática urgente: la acumulación persistente de residuos plásticos en vertederos, ríos y zonas urbanas, como consecuencia de la baja tasa de reciclaje y la falta de tratamientos sostenibles. Evaluar la eficacia comparativa de *Zophobas morio* y *Galleria mellonella* en la degradación del polietileno permitirá identificar cuál

de estas especies ofrece mejores resultados bajo condiciones controladas. Los hallazgos podrán orientar futuras estrategias de tratamiento de residuos sólidos, promoviendo alternativas de bajo costo, bajo impacto ecológico y con potencial de aplicación en comunidades, centros educativos o instituciones públicas.

Enfoque Metodológico

Desde el punto de vista metodológico, esta investigación se fundamenta en la experimentación directa y comparativa, lo que permite establecer parámetros objetivos y medibles sobre la eficiencia biodegradativa de las larvas seleccionadas. La utilización de un diseño experimental no solo garantiza la validez interna de los resultados, sino que facilita su replicación en otros escenarios locales o regionales. Asimismo, la elección de especies biológicas accesibles y no tóxicas refuerza el carácter sostenible de la propuesta, abriendo la posibilidad de adaptarla a distintas condiciones geográficas o institucionales.

Finalmente, desde un punto de vista personal, esta investigación representa un compromiso directo con la búsqueda de soluciones reales y sostenibles frente a una problemática creciente. A través del trabajo experimental, aspiro a generar conocimiento útil, aplicable y con potencial de expansión en futuras investigaciones científicas a mayor escala.

1.6 LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

Dada la escasez de referencias bibliográficas y de información específica sobre el tema, la investigación se vio obligada a examinar y emplear otros recursos, tanto documentaciones convencionales como virtuales, para superar estas limitaciones.

Asimismo, la magnitud del proyecto se redujo debido a la falta de recursos económicos y al escaso apoyo institucional para cubrir los gastos generados durante su desarrollo.

Finalmente, como las distintas especies de insectos fueron adquiridas en la ciudad de Lima, se presentó un porcentaje de mortandad durante su transporte hacia la región de Huánuco, lo que limitó económicamente la ejecución de la investigación.

1.7 VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN

La presente investigación fue viable debido a los siguientes factores:

Viabilidad Técnica

La investigación fue técnicamente viable, debido a que se contó con un espacio adecuado en el laboratorio de la Universidad de Huánuco, donde se mantuvieron condiciones controladas para la crianza/estabilización de las larvas y el seguimiento de la degradación del polietileno. Asimismo, se dispuso de materiales e instrumentos básicos como bandejas, recipientes, balanza digital y bolsas de PEBD, lo que permitió desarrollar el experimento de manera ordenada y segura.

Viabilidad Económica

Desde el punto de vista económico, la investigación fue factible, ya que se dispuso de los recursos necesarios para adquirir los insumos básicos. No se necesitaron equipos costosos, y los gastos se concentraron en materiales accesibles como las larvas, su alimento y algunos implementos de bajo costo. Asimismo, se contó con el apoyo económico de la familia del investigador, lo que permitió realizar el estudio sin limitaciones financieras.

Viabilidad Operativa

En el aspecto operativo, el investigador tuvo disponibilidad total de tiempo para dedicarse al monitoreo constante de las larvas y registrar adecuadamente los datos durante todo el proceso experimental. Además, se recibió respaldo y orientación de personas cercanas con experiencia en investigaciones similares, lo que fortaleció la correcta aplicación de la metodología. Las etapas del estudio se organizaron de manera ordenada dentro de un cronograma realista que permitió cumplir los objetivos planteados.

Viabilidad Ambiental y Social

La investigación también fue ambientalmente viable, ya que promovió el uso de tecnologías biológicas limpias como alternativa para reducir el impacto de los residuos plásticos. La utilización de larvas no generó contaminación ni implicó riesgos para el entorno. El propósito fue contribuir con nuevas estrategias sostenibles para la gestión de residuos, fomentando

soluciones ecológicas y responsables con el ambiente.

Finalmente, desde una perspectiva social, el proyecto tuvo potencial de impacto positivo, ya que puede ser replicado en colegios, comunidades e instituciones interesadas en alternativas para disminuir la contaminación plástica. Se esperó que los resultados despertaran interés en los ámbitos educativo y ambiental, incentivando prácticas sostenibles en otras personas. La sencillez del proceso facilitó su posible adopción por distintos sectores sociales.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1 ANTECEDENTES INTERNACIONALES

Martínez (2023), en su investigación sobre el “microbioma intestinal de *Zophobas morio* (Coleóptera: Tenebrionidae), explora su posible aplicación en la biodegradación del poliestireno”. Tuvo el objetivo de caracterizar el microbiota intestinal de las larvas de *Zophobas morio* como enfoque para explorar su posible uso en la biodegradación de PS (poliestireno, utilizando metabarcoding. La metodología utilizada consistió en la secuenciación del Illumina Miseq de la región V3-4 del gen 16S del ARNr de larvas de *Zophobas M.* que fueron alimentadas con 2 clase de dietas: EPS y Avena. Incluso se alcanzó a obtener el meta genoma completo de una de las muestras alimentadas con EPS mediante la plataforma de secuenciación Hiseq2500. En los resultados de la secuenciación, se llevó a cabo un análisis de la composición taxonómica y la abundancia relativa de las bacterias, como un análisis metabólico del microbioma contenido de las larvas alimentadas con EPS. El análisis metagenómico reveló que el género *Spiroplasma* tuvo una abundancia relativa del 61.6%, seguido por *Pantoea* en un 19.3%, *Enterobacter* en un 5% y *Pseudarthrobacter* con 4.7%. También se identificaron otros géneros como *Kluyvera Georgiana*, *Enterococcus sps.*, *YRomboutsia sp.*, *Bacillus sp.*, Se considera que estos géneros son los microorganismos más prometedores para influir en la biodegradación del EPS. En conclusión, al comparar los 2 alimentos, se notó que los microorganismos *Kluyvera georgiana* *Clostridium sensu stricto* 6, así como los géneros *Pseudarthrobacter*, *Enterococcus*, *Bacillus*, *Romboutsia* y *Pantoea*, mostraron diferencias relevantes en su abundancia relativa. Esto sugiere una fuerte relación entre su presencia en el tracto y la degradación de ESP. En esta investigación las larvas alimentadas con poliestireno expandido sobrevivieron, y los géneros o especies

bacterianas halladas en su tracto digestivo podrían desempeñar un papel fundamental en el proceso de biodegradación del EPS.

López (2020), llevo a cabo una investigación en la universidad central del Ecuador en su tesis Titulada “Examinar la habilidad de subsistencia de dos clases de escarabajos (*Dermestes* y *Tenebrio molitor*) al ser alimentados con dietas a base de polímeros, en especial el poliestireno y polietileno”. Tuvo el objetivo determinar la subsistencia de las larvas de los *coleópteros* *Tenebrio molitor* y *Dermestes sp.*, que están sometidas a 2 clases de alimentación elaboradas con polímeros (polietileno y poliestireno). Para llevar acabo esto, se empleó una metodología que consistió en 1 ensayo y 2 repeticiones, cada una con una duración de 10 días. Se aplicaron 2 tratamientos se utilizaron 40 larvas, las cuales fueron puestas uno por uno en envases. Se seleccionaron larvas del mismo estadio y tamaño. Los resultados del tratamiento de control mostraron una mayor subsistencia, tal como se preveía. Al comparar los tratamientos con polímeros, ambas especies presenta una mayor subsistencia con poliestireno. Tanto *Tenebrio molitor* como *Dermestes sp.* Tienen capacidad de biodegradar, pero *Tenebrio molitor* es más eficaz en la biodegradación del poliestireno en igualdad con *Dermestes sp.* En cuanto al polietileno, ninguna de las 2 especies mostro capacidad de biodegradación. En conclusión, ambas especies presentan una alta supervivencia con la alimentación a base de poliestireno y son capaces de degradar este tipo de polímero de manera efectiva.

Cardozo (2020), en su estudio titulado “Desintegración de poliestireno expandido por larvas de *Coleóptera Tenebrionidae* (*Tenebrio molitor* L.) en un ambiente controlado de laboratorio”. Tuvo como objetivo de este estudio analizar la capacidad de las larvas de *Coleóptera Tenebrionidae* (*Tenebrio molitor* L.) para consumir y degradar el PE (Poliestireno Expandido) en un entorno de laboratorio. En cuanto a la metodología, 1) se midió la capacidad de las larvas de *Tenebrio molitor* para consumir poliestireno expandido. 2) Se evaluó la capacidad de degradación del poliestireno expandido utilizando las larvas de *Tenebrio molitor*. Para medir la capacidad de consumo, se

utilizó un diseño completamente al azar con 4 tratamientos (T1-10 larvas (L), T2-20 L, T3-30 L, T4-40 L), cada uno con 5 réplicas, sobre 500 miligramos de PE, y se registraron datos semanalmente. Para evaluar la biodegradación, se pesó el excremento de las larvas en cada tratamiento una vez por semana. Como resultado, se observó una diferencia relevante entre los tratamientos ($P < 0.05$) con las larvas de *Tenebrio M.* en cuanto al consumo y la degradación, destacando la efectividad del tratamiento 3 y demostrando que la cantidad de larvas no influye en el nivel de consumo y degradación. En conclusión, *Tenebrio M.* puede ser considerado como una opción para la biodegradación del Poliestireno Expandido a escala reducida.

2.1.2 ANTECEDENTES NACIONALES

Calizaya (2019), en su investigación titulada “Evaluación del polietileno como alimento de la *Galleria mellonella* como alternativa en la biodegradación”, tuvo como objetivo analizar si el polietileno puede ser utilizado como fuente de alimentación por la larva *Galleria mellonella* y su potencial biodegradador. Como metodología el estudio empleó tres tratamientos con seis repeticiones, además de un tratamiento adicional para examinar la posible implicancia de las cabezas de las larvas en la degradación del plástico. El primer tratamiento consistió en la exposición de larvas a bolsas de polietileno, el segundo inclusión bolsas de polietileno con un sustrato adicional y larvas, mientras que el tercero se enfocó en la interacción de larvas con bolsas de polietileno. Los resultados revelaron que la tasa de supervivencia de *Galleria mellonella* al alimentarse exclusivamente de polietileno fue del 56%, en contraste con el 100% en los otros dos tratamientos. En conclusión, la reducción de masa del polietileno no mostró diferencias significativas entre los dos primeros tratamientos, con valores de 7,71% y 5,11%, respectivamente. Esto sugiere que la larva no consume el polietileno como alimento, sino que lo perfora como mecanismo de escape. Además, mediante microscopía óptica a 100 aumentos, se identificó un daño en la estructura del polietileno cuando se expuso a un homogeneizado de cabezales de *Galleria mellonella*,

en comparación con otra fuente proteica (leche evaporada). Este hallazgo sugiere la posible presencia de sustancias en la mandíbula de la larva que afectan la integridad del polietileno. En conclusión, *Galleria mellonella* no tiene la capacidad de utilizar el polietileno como alimento, lo que limita su aplicación inmediata como un agente biodegradador eficiente de este material.

Arce (2023), en su estudio titulado “Biodegradación de Tereftalato de Polietileno (PET) mediante el uso de larvas de *Zophobas morio* y *Galleria mellonella* – Lima, 2023”, tuvo como objetivo evaluar la capacidad de biodegradación del PET a través de la acción de las larvas *Zophobas morio* y *Galleria mellonella*, además de identificar las características óptimas de estos organismos para dicho proceso. En la metodología la investigación adoptó un diseño experimental en el que ambas especies fueron separadas en recipientes con cantidades variables de 20, 30 y 40 larvas. Durante un período de 30 días y bajo condiciones ambientales normales, se monitoreó el proceso de biodegradación del PET. Los resultados indicaron que *Zophobas morio* mostró una mayor eficiencia en la degradación del PET en comparación con *Galleria mellonella*. Asimismo, la cantidad de larvas influyó significativamente en el proceso, observándose que los grupos conformados por 40 individuos lograron los mejores resultados. Se determinaron que el periodo óptimo para la biodegradación ocurrió entre los días 20 y 30 del experimento. En conclusión, el estudio evidenció que las larvas de *Zophobas morio* lograron degradar 1,75 g de PET, mientras que las de *Galleria mellonella* apenas alcanzaron 0,46 g. En términos porcentuales, la reducción del PET mediante la biodegradación con *Zophobas morio* fue del 21,65%, mientras que con *Galleria mellonella* fue solo del 4,71%. Estos hallazgos resaltan el potencial de *Zophobas morio* como un agente más eficiente en la degradación de PET.

Chávez y Lizama (2022), en su estudio titulado “Cantidad óptima de larvas del gusano de la cera (*Galleria mellonella* L.) en la biodegradación del polietileno de baja densidad”, tuvieron como objetivo determinar la cantidad óptima de larvas y su capacidad para

degradar polietileno como una alternativa en procesos de biodegradación. Para ello, en la metodología se utilizaron 225 larvas obtenidas mediante la captura y aislamiento de polillas adultas de *Galleria mellonella*, a partir de las cuales se recolectaron huevos que fueron incubados en una colmena acondicionada. Las larvas seleccionadas fueron sometidas a un experimento de 48 horas en condiciones de laboratorio, donde se les suministró bolsas de polietileno de baja densidad (LDPE) junto con una dieta artificial para evaluar su capacidad biodegradadora. El estudio demostró tres tratamientos con cinco repeticiones cada uno: T1 (10 larvas y 5 g de LDPE), T2 (15 larvas y 5 g de LDPE) y T3 (20 larvas y 5 g de LDPE). Para el análisis de los datos, se empleó un ANOVA de un solo factor, complementado con pruebas estadísticas como la de comparaciones múltiples de Tukey, Shapiro-Wilk y Bartlett. Los resultados mostraron que el tratamiento T3, con un porcentaje de biodegradabilidad del 5,68%, fue el más eficaz, seguido de T2 con 2,52% y T1 con 1,24%. Se concluyó que la exposición de 48 horas fue más efectiva en la degradación del polietileno cuando se emplearon 20 larvas. Además, el análisis de varianza (ANOVA) evidenció un efecto significativo en al menos uno de los tratamientos ($p < 0,05$). El análisis de comparaciones múltiples de Tukey confirmó que existían diferencias significativas entre los tratamientos T3-T1 y T3-T2, con valores de $p < 0.05$, respaldando la mayor eficiencia del T3 en la biodegradación del polietileno de baja densidad.

Quezada y Ventura (2022), en su estudio titulado “Revisión Sistemática: Eficacia del gusano de cera (*Galleria mellonella*) para la biodegradación de materiales plásticos”, en su objetivo analizó la capacidad de esta especie para degradar distintos tipos de plásticos. La metodología empleada correspondió a un enfoque teórico, de tipo no experimental y transversal, basado en una revisión sistemática de información obtenida de revistas científicas y tesis académicas. Como resultado, se identifican diversas características de *Galleria mellonella*, incluyendo su tamaño, la degradación enzimática que lleva a cabo, su dieta y metabolismo microbiano. Asimismo, se detallaron los tipos de

plásticos que pueden ser degradados por esta especie, como el polietileno (PE), el polietileno de baja densidad (PEBD), el poliestireno expandido (EPS), el polipropileno (PP) y los residuos plásticos provenientes de equipos eléctricos y electrónicos. Además, se destacaron dos rutas fundamentales de biodegradación que desempeñan un papel clave en este proceso. En conclusión, la biodegradación de materiales plásticos ocurre principalmente debido a la actividad metabólica de *Galleria mellonella*, ya que esta especie es capaz de consumir plásticos y utilizarlos como fuente de energía en su desarrollo biológico, lo que sugiere su potencial como agente degradador en estrategias de biorremediación.

Chávez y Riofrio (2019) presentan en su tesis titulada “Análisis del efecto de la función Digestiva del *Zophobas morio* en la degradación biológica de 3 clases de polímero”. , planteándose como objetivo el de analizar el efecto de la función digestiva del *Zophobas morio* en el proceso de degradación biológica de tres clases de polímero, Se empleó una metodología que consistió en 2 distintos tratamientos para conseguir biodegradar los materiales poliméricos como el Tecnopor (poliestireno), bolsas de basura negra (polietileno de alta densidad), bolsas comerciales rosadas , Ambos tratamientos tuvieron un periodo de 6 semanas, es decir 42 días. En el primer tratamiento, se utilizó el homogeneizado del tracto digestivo del *Zophobas morio*, que estuvo en contacto directo con los polímeros durante ese periodo. Simultáneamente, en el segundo tratamiento se utilizaron larvas vivas del *Zophobas morio*, que también se pusieron en contacto directo con los polímeros para ser consumido. Se llevaron a cabo tres mediciones a lo largo del tiempo: la primera se realizó al inicio (Semana 0), la segunda en la semana intermedia (Semana 3) y la última en la semana final (Semana 6). En los resultados se obtuvieron a través de la observación, el procedimiento experimental y el análisis estadístico. De esto se puede concluir que tanto el homogeneizado como la masticación realizada por las larvas son efectivos para la degradación biológica de las tres clases de polímeros.

Ventura (2024), en su estudio titulado “Eficiencia de insectos y

microorganismos asociados degradadores de poliestireno identificados en América, Asia y Europa, 2015-2021". El estudio tuvo como objetivo evaluar la eficiencia de estos organismos en la biodegradación del PS. Para ello, en la metodología se llevó a cabo una revisión sistemática de 110 artículos científicos extraídos de bases de datos como Scopus, Web of Science y American Chemical Society, de los cuales se seleccionaron y analizaron 38. Se identificó que los insectos del orden *Coleoptera* fueron mencionados como degradadores de PS en el 89 % de los estudios, mientras que los del orden *Lepidoptera* aparecieron en el 11 % de las publicaciones revisadas. Entre los *Coleópteros* de la familia *Tenebrionidae* reportados como degradadores de PS se encuentran *Tenebrio molitor*, *T. obscurus*, *Tribolium castaneum*, *Plesiophthalmus davidis*, *Zophobas morio*, *Zophobas atratus*, *Uloma sp.* y *Alphitobius diaperinus*. Por otro lado, el único *Lepidóptero* identificado en este proceso fue *Galleria mellonella*, perteneciente a la familia *Pyrallidae*. Los resultados en cuanto a la eficiencia degradativa, el 60 % de los estudios indicó que las larvas de estos insectos pueden descomponer el PS al emplearlo como su única fuente de nutrición, mientras que el 40 % señaló que las larvas requieren la suplementación con otros sustratos orgánicos para lograr una degradación efectiva. Además, el 96 % de las investigaciones revisadas reportó la presencia de microorganismos en el intestino y las excretas de las larvas, los cuales desempeñan un papel fundamental en la degradación del polímero. En conclusión, la capacidad de biodegradación del poliestireno en estos insectos se debe, en gran medida, a la actividad microbiana presente en su sistema digestivo, lo que refuerza su potencial como agentes biológicos en estrategias de reducción de contaminación plástica.

2.1.3 ANTECEDENTES REGIONALES

Condezo (2022), en su tesis titulada "Eficacia de las larvas de *Tenebrio molitor* en la degradación biológica de plásticos, Huánuco 2019". Su objetivo fue establecer la eficacia de las larvas de *Tenebrio molitor* en la degradación biológica de polímeros. Se eligió un enfoque

de investigación experimental para evaluar la eficacia de las larvas móviles en cada tipo de polímero, incluyendo poliestireno, bolsas de baja densidad y pañales. La metodología que empleo en los procedimientos para la recolección de datos incluyó el uso de fichas de observación para recoger datos sobre el consumo de polímeros, el cambio en la biomasa, la cantidad de polímeros involucrados y la excreta producida durante el periodo de 45 días. Posteriormente, se realizaron análisis fisicoquímicos en el laboratorio. Para construir el marco teórico, se utilizaron archivos estructurados para reunir información sobre las variables de calibración y estimación. En el procesamiento del informe final, se aplicaron estadísticas descriptivas para evaluar los datos estadísticos y se realizó un post-test para comprobar la hipótesis. Se utilizaron 0,231 g de bloque de Tecnopor (poliestireno) D10 (10 kg/m³), así como bolsas de baja densidad y pañales, con cinco muestras repetidas de cada uno, para digerir los gusanos a una temperatura de 25°C. Los resultados experimentales revelaron una diferencia en la eficacia entre el poliestireno plástico (valor $p = 0,012$) y los pañales de plástico (valor $p = 0,038$). No obstante, no se observaron diferencias relevantes entre el poliestireno y el rendimiento de los pañales (valor $p = 0,803$). Los hallazgos indicaron que la biodegradación del poliestireno alcanzó un 86,132%, mientras que en las bolsas de baja densidad fue del 18,978% y en los pañales del 73,527%. En conclusión, se evidenció una diferencia significativa en la degradación biológica de los polímeros.

Rivas (2020), en su tesis titulada “Habilidad biodegradaría de la cucaracha *Periplaneta americana* (Linnaeus, 1758) sobre polimeros y el FILM para la producción de abono”. Planteándose como objetivo examinar si las cucarachas aisladas de Tingo María tienen la capacidad biodegradaría sobre 2 clases de LDPE: polímeros y el film. En su metodología, aplico 2 tratamientos: el 1er tratamiento (T1) y el 2do tratamiento (T2), que consistieron en una película de bolsa plástica o film en un aproximado de 0.1gramos, junto con una cucaracha. Este procedimiento se repitió cinco veces durante un periodo de un a dos semanas, manteniendo una temperatura de 35 °C y una humedad del

60% en una incubadora tipo Rcom 20. Los resultados mostraron que la capacidad promedio de degradación biológica de la cucaracha *Periplaneta americana* fue de 0.6 mg en la bolsa plástica y 0.9 mg en el film durante 1 semanas, mientras que, para 2 semanas, los valores fueron de 1 mg Enel polímero y 0.3 mg en el film. Además, a partir de la extracción del tracto digestivo, se identificaron las bacterias *Pseudomona sp.*, *Bacillus sp.* y el hongo *Candida albicans*. Al final, se concluyó que el tratamiento T1 tuvo una mayor influencia en la producción de abono, ya que mostró una mejor degradación biológica (formación de nuevos grupos funcionales), un menor promedio de pérdida de peso de la cucaracha debido al consumo de polímeros (18.78%) y un mayor promedio de producción de excreta (0.0028%). Asimismo, se analizaron los micro y macronutrientes y parámetros tanto físicos y químicos en la excreta.

Rivera (2023), en su estudio titulado “Contraste en la eficiencia de la capacidad biodegradaría de la larva *Tenebrio molitor* para la degradación biológica de recipientes desechables (fabricados con fécula de maíz y poliestireno), Huánuco - 2022”. Dicho estudio se planteó objetivo principal contrastar la eficiencia de la capacidad biodegradaría de la larva *Tenebrio Molitor* para la degradación biológica de los recipientes descartables fabricados de fécula de maíz y poliestireno, Huánuco - 2022. Se trato de una investigación prospectiva, analítica, con intervención y de carácter longitudinal. La metodología consistió en criar larvas de *Tenebrio molitor* que fueron alimentadas con envases desechables, uno elaborado con poliestireno y otro con fécula de maíz, durante un periodo de un mes, registrando datos semanalmente. Para ello, se utilizaron 10 recipientes de plástico con las siguientes dimensiones: largo de 9.60 cm, ancho de 9.60 cm, alto de 11.50 cm y una capacidad de 680 ml. En 5 de estos recipientes se colocaron 30 g de recipientes desechables de poliestireno, mientras que en los otros 5 se incluyeron 30 g de recipientes a base de fécula de maíz. En cada uno de los 10 recipientes se introdujeron 100 unidades de larvas de *Tenebrio molitor* en su primer mes del estado larvario. El estudio adoptó un diseño experimental verdadero, con 2

grupos experimentales intervenidos para permitir comparaciones, y se ubicó dentro del nivel aplicativo. Al concluir el mes, se obtuvieron los siguientes resultados: para el poliestireno, se registró un 10.50 % en altura, un 10.00 % en peso y un 9.98 % en volumen. En cambio, para la fécula de maíz, la eficiencia fue del 23.00 % en altura, 12.00 % en peso y 12.00 % en volumen. En conclusión, se determinó que la degradación biológica de los recipientes desechables elaborados con fécula de maíz es más eficaz en comparación con los recipientes hechos de poliestireno.

2.2 BASES TEÓRICAS

2.2.1. SOLUCIONES BIOLÓGICAS

2.2.1.1. Definición

Las soluciones biológicas comprenden un conjunto de tecnologías y procesos que emplean organismos vivos, tales como microorganismos, plantas, hongos, insectos o enzimas, con el objetivo de abordar diversos problemas ambientales. Estas soluciones se caracterizan por utilizar los mecanismos naturales de dichos organismos para transformar, degradar o neutralizar sustancias contaminantes, convirtiéndolas en compuestos menos tóxicos o inofensivos para los ecosistemas. Este enfoque promueve la sostenibilidad ambiental al reemplazar métodos químicos o industriales convencionales, reduciendo el uso de productos tóxicos, el consumo energético y la generación de residuos. En consecuencia, las soluciones biológicas representan una alternativa eficiente, ecológica y económicamente viable para procesos como la biorremediación, el tratamiento de residuos, el control biológico de plagas y la producción limpia (Hernández M, et al, 2020).

2.2.1.2. Insectos degradadores

Según la página The Conversation (2022), un reciente hallazgo ha puesto el foco en ciertas larvas de insectos que pueden descomponer las estructuras de las poliolefinas más

resistentes, como el PE (polietileno) y el PS (poliestireno). Una de estas larvas, la del lepidóptero *Gallería mellonella*, conocido como gusano de cera demostró una notable habilidad para descomponer polímeros. Este descubrimiento sobre la capacidad del gusano de la cera se realizó en el laboratorio, impulsado por un gran interés en el entorno ambiental y una preocupación por los polímeros, además de un toque de serendipia.

Joaquín (2022). Otro insecto que se está utilizando en experimentos con dietas artificiales a base de polímeros es el *Zophobas morio*, un escarabajo que en su etapa larval se conoce como gusano de harina, gusano rey, gusano morio o *zophobas*. En el laboratorio, las larvas de *Zophobas morio* y otros insectos similares han demostrado desde tiempos su capacidad para consumir y digerir grandes cantidades de poliestireno, incluyendo la variante comúnmente denominada corcho blanco, poliespán o Porex pan (poliestireno expandido o extruido).

INABIO (2023). A lo largo del tiempo, los polímeros se fragmentan y se integran discretamente en la cadena alimenticia de los animales, como insectos, aves y otros organismos. Las larvas de la mosca soldado-negra son una especie utilizada a nivel mundial para el manejo de residuos orgánicos, gracias a su gran habilidad para transformar nutrientes y almacenarlos en su cuerpo como proteínas y ácidos grasos. Por este motivo, se siguen llevando a cabo investigaciones para evidenciar la tolerancia a diversas clases de polímeros.

2.2.1.3. Zophobas morio

ROTOLIA (2022). El gusano *Zophobas morio*, que pertenece a la familia *Tenebrionidae* y sus larvas son popularmente conocidas como gusano de la harina, gusano rey, gusano morio o simplemente *zophobas*, se utiliza comúnmente como dieta para reptiles y mascotas exóticas. Esta especie de gusano tiene la capacidad de alimentarse de poliestireno, un material polimérico polivalente que se usa en la elaboración de

una variedad de cosas como tuberías y corchos y que puede contaminar los océanos.

Figura 1

Zophobas morio



Nota. La figura muestra *Zophobas morio*

2.2.1.4. Taxonomía del *Zophobas morio*

De acuerdo con la página BOTANICAL-ONLINE (2023), la clasificación taxonómica del *Zophobas* es:

- Reino: Animalia
- Filo: Artrópodos
- Familia: Tenebrionidae
- Clase: Insectos
- Género: *Zophobas*
- Orden: Coleópteros
- Especie: *Morio*
- Nombre común: Gusano Rey

2.2.1.5. Características del *Zophobas morio*

Risso (2022). La larva *Zophobas morio* es una especie de la familia *Tenebrionidae* y se distingue por su peculiar tamaño, pudiendo alcanzar hasta seis centímetros de largo y 1 centímetro de ancho. Una característica que la diferencia de otras larvas de su misma familia es la forma de su cuerpo, que presenta

extremos largos y oscuros, con un color negro y seis patas pequeñas, además de dos patas rudimentarias. Esta larva tiene la característica de convertirse en otro insecto; si se mantiene en aislamiento por un periodo de 10 días, puede transformarse en escarabajos de gran tamaño que miden hasta 3 centímetros en longitud.

2.2.1.6. Ciclo de vida de *Zophobas morio*

Úbeda y Michel (2021). El ciclo de vida de las *Zophobas* consta de 5 fases: huevo, larva, pupa e imago. Este ciclo inicia cuando una hembra deposita un saco de huevos en un sustrato adecuado. Los huevos comienzan a eclosionar a 7 días después de ser puestos. De esos sacos emergen larvas que miden apenas entre 5 y 6 milímetros de largo. Desde ese momento, las larvas inician su fase de engorde, alimentándose de frutas, vegetales, granos secos, carne e incluso practicando el canibalismo, ya que durante este periodo necesitan aumentar su peso y tamaño. Cuando la larva alcanza los 60 días o mide entre 4 y 4.5 centímetros como mínimo, entra en la madurez, lo que indica que está lista para comenzar la etapa de metamorfosis, buscando un entorno seco y seguro para empupar.

Úbeda et al. (2020) mencionan que, después de cuatro días de aislamiento, las larvas se inmovilizan y aumentan de grosor, entrando en una etapa conocida como pre-pupa. Entre 8 y 12 días tras alcanzar esta fase, se transforman en pupas. Las pupas son inicialmente de color blanco y, con el tiempo, van adquiriendo un tono marrón. Permanecen en esta etapa durante aproximadamente 10 a 12 días antes de convertirse en escarabajos jóvenes de color blanco, que poco a poco van tomando un color marrón claro, lo que indica el final del proceso de metamorfosis. A este escarabajo en su etapa juvenil se le denomina imago o adulto. La metamorfosis completa dura entre 16 y 24 días. Después de este proceso, los adultos comienzan a morir gradualmente durante los meses siguientes.

Figura 2

Ciclo de vida del Zophobas morio

Ciclo de vida de la
Zophobas morio a 27°C



Nota. La figura muestra el ciclo de vida del zophobas morio

2.2.1.7. Hábitat y distribución del Zophobas morio

Morote y Vásquez (2023) indican que los *Zophobas* optan por un entorno seco y cálido. Un envase de plástico con buena ventilación y un sustrato como avena o salvado de trigo es ideal para su crianza. Su origen se encuentra en la Amazonía, donde habita la mayoría de las especies. Su distribución abarca Centro y Sudamérica, y también se cultiva en Estados Unidos y Europa. El principal uso de este coleóptero reside en que se comercializa en varios países como alimento vivo para mascotas, fauna silvestre en encierro y en cebos para la pesca.

2.2.1.8. Impacto de utilización del Zophobas morio en el ambiente

Risso (2022) señala que uno de los experimentos más significativos realizados hasta ahora consistió en colocar 50 larvas de la especie *Zophobas morio* en una cámara hecha de poliestireno. Después de 21 días, los especialistas abrieron la cámara y quedaron sorprendidos al descubrir que las larvas habían consumido el 70% del polímero presente. Por lo tanto, si se aplica esta misma metodología en espacios más amplios y

con un mayor número de gusanos, podría iniciarse un proceso de reciclaje sin precedentes. Así, las *Zophobas morio* ofrecen la esperanza de que, gracias a su actividad, se reduzca la cantidad de plástico contaminante en el planeta y se pueda acelerar el proceso de desintegración.

ROTOLIA (2022). Un estudio científico que busca formular una enzima que facilite la biodegradación de residuos plásticos a través de un proceso que combina trituración mecánica y biodegradación enzimática. En este estudio, las larvas fueron divididas en tres grupos: uno fue alimentado con salvado, otro con espuma de poliestireno, y el último grupo no recibió alimento. Las principales conclusiones del estudio indican que las larvas efectivamente consumen poliestireno y que estos individuos, al alimentarse de plástico, pueden completar su ciclo vital y convertirse en escarabajos. Además, se observó que esta dieta artificial altera algunas condiciones naturales del aparato digestivo, lo que resulta en una reducción de su crecimiento.

2.2.1.9. *Galleria mellonella*

Conocida como gusano de cera, es un insecto perteneciente al orden *Lepidoptera* ya la familia *Pyralidae*. Su ciclo de vida comprende cuatro etapas: huevo, larva, pupa y adulto. En su fase larval, este insecto se desarrolla principalmente en colmenas de abejas, donde se alimenta de cera, miel y polen, lo que le confiere su nombre común (Jorjão et al., 2018).

Figura 3

Galleria meronella



Nota. La figura muestra *Galleria mellonella*

Según Jorjão et al. (2018) la *Gallería mellonella*, conocida como gusano de cera, pertenece a la siguiente clasificación taxonómica:

- Reino: Animalia
- Filo: Artrópodos
- Clase: Insecta
- Orden: Lepidoptera
- Familia: Pyralidae
- Género: Galería
- Especie: *Galleria mellonella* (Linnaeus, 1758)

Además de su importancia en la apicultura, *Galleria mellonella* ha sido ampliamente utilizada como modelo experimental en estudios científicos debido a su sistema inmunológico similar al de los mamíferos y su capacidad de degradar ciertos polímeros plásticos como el polietileno. Se ha identificado que la actividad biodegradadora de esta especie está relacionada con la presencia de microorganismos simbióticos en su tracto digestivo, los cuales producen enzimas capaces de fragmentar los polímeros plásticos en compuestos más simples (Bombelli, Howe & Bertocchini, 2017).

2.2.1.10. Características de *Galleria mellonella*

Las larvas de *Galleria mellonella* presentan un cuerpo cilíndrico con un exoesqueleto blando de color blanco amarillento a marrón claro. Pueden alcanzar una longitud de hasta 30 mm antes de la fase de pupa. En su etapa adulta, esta especie se convierte en una polilla de color marrón grisáceo, con alas escamosas y un tamaño de aproximadamente 10-15 mm de longitud. Su aparato bucal está adaptado para perforar y consumir cera de abeja, lo que la convierte en una plaga en colmenas de abejas melíferas (*Apis mellifera*) (Ramírez et al., 2021).

- **Hábitat de *Galleria mellonella***

El hábitat natural de *Galleria mellonella* son las colmenas de abejas, donde encuentran condiciones óptimas de temperatura, humedad y alimento. Sin embargo, también pueden habitar en estructuras artificiales como paneles almacenados o en ambientes con residuos orgánicos que favorecen su desarrollo. Además, se ha reportado su presencia en regiones con climas templados y tropicales en todo el mundo (Park et al., 2019).

- **Ciclo de vida de *Galleria mellonella***

González et al. (2020), dice que el ciclo de vida de *Galleria mellonella* consta de cuatro etapas:

- **Huevo:** Son depositados en grietas o superficies rugosas dentro de las colmenas de abejas. La eclosión ocurre entre 3 y 5 días después de la oviposición.
- **Larva:** Esta es la fase más prolongada, con una duración de 1 a 2 meses, dependiendo de la temperatura y la disponibilidad de alimento. Durante esta etapa, la larva se alimenta de cera, polen y restos orgánicos en las colmenas.
- **Pupa:** La metamorfosis ocurre dentro de un capullo protector, donde la larva sufre una transformación completa en aproximadamente 10 a 14 días.
- **Adulto:** La polilla adulta emerge del capullo y tiene una vida

corta de 7 a 10 días, durante la cual se reproduce antes de morir.

2.2.1.11. Capacidad Degradativa de *Galleria Mellonella*

La contaminación plástica, en particular la acumulación de polietileno en el medio ambiente, ha generado una creciente preocupación debido a su resistencia a la degradación natural. Diversas investigaciones han explorado la posibilidad de utilizar organismos biológicos, como insectos y microorganismos simbioses, para la biodegradación de plásticos. En este contexto, *Zophobas morio* y *Galleria mellonella* han sido objeto de estudio por su capacidad de descomponer polímeros sintéticos como el polietileno (Yang et al., 2020).

La *Galleria mellonella*, o gusano de cera, ha sido identificado como otra especie capaz de degradar polietileno. Se ha observado que las larvas de *G. mellonella* pueden perforar y consumir bolsas de plástico, lo que sugiere una posible digestión parcial del material. Sin embargo, estudios como el de Calizaya (2019) indican que este insecto no puede utilizar el polietileno como única fuente de alimento, lo que limita su efectividad como biodegradador independiente.

Investigaciones realizadas por Bombelli, Howe y Bertocchini (2017) dice que la larva de *Galleria mellonella*, también conocida como el gusano de la cera, ha demostrado una notable capacidad para fragmentar y modificar la estructura del polietileno. Descubrieron que estas larvas pueden degradar este material, posiblemente debido a la acción de enzimas presentes en su sistema digestivo, como oxidasa y deshidrogenasa, que facilitan la oxidación y fragmentación del polietileno en compuestos más simples. Los experimentos realizados mostraron que *Galleria mellonella* puede consumir polietileno y generar subproductos como el etilenglicol, lo que sugiere un proceso de biodegradación efectivo. Después del experimento demostraron que las larvas de *Galleria mellonella* pueden reducir el peso del polietileno hasta en un 5.68 % en un período de 48

horas, aunque el mecanismo exacto aún no está completamente comprendido. Se ha sugerido que la biodegradación ocurre debido a la presencia de enzimas específicas en la saliva de las larvas, como las oxidorreductasas, que inician el proceso de fragmentación del polímero.

Sin embargo, investigaciones recientes sugieren que la degradación ocurre principalmente debido a la actividad microbiana en su intestino, en lugar de ser una capacidad inherente de la larva misma (Brandon et al., 2020).

2.2.2. DEGRADACIÓN DE BOLSAS DE POLIETILENO.

2.2.2.1. Plástico

Según INFINITIA (2021), una de las innovaciones más significativas del siglo XX fue la creación y el desarrollo de los materiales plásticos, que se utilizan en una gran variedad de aplicaciones, tanto industriales como diarias, las cuales antes dependían de materiales tradicionales como metal, vidrio o cerámica. El plástico es un material que se caracteriza por ser ligero, duradero, económico y fácil de modificar. Está compuesto por polímeros, que son grandes moléculas orgánicas formadas por cadenas repetidas de carbono llamadas monómeros, tales como etileno, propileno, cloruro de vinilo y estireno. Estos monómeros se obtienen del petróleo y los combustibles fósiles, o de la biomasa en el caso de los bioplásticos, y son los que determinan las propiedades fundamentales, la estructura y el tamaño de los polímeros. Además, en el proceso de fabricación se añaden sustancias aditivas que modifican y mejoran las características de los plásticos.

Freire (2024), señala que los plásticos contienen varias clases de aditivos que pueden tener un efecto negativo al medio ambiente y a la salud de la humanidad. Entre estos aditivos se encuentran ciertas sustancias químicas, como los ftalatos, que se añaden para mejorar la flexibilidad y durabilidad del plástico, así como el bisfenol A (BPA), que se utiliza en la producción de plásticos rígidos y resinas epoxi. Además, los plásticos de mayor

tamaño pueden liberar micro plásticos, que son pequeñas partículas de plástico que se generan a partir de la degradación de productos de más tamaño.

DKV (2024). Indica que, desde que se introdujo este material en el siglo XIX y a lo largo de diversos ensayos e investigaciones, su forma y características han sufrido muchos cambios para ajustarse a las necesidades de cada época. Así, se pueden clasificar los plásticos en 2 grandes categorías según su origen: Sintéticos y Naturales.

INFINITIA (2021), menciona que, según su estructura interna, los materiales plásticos se pueden clasificar en termoplásticos y termoestables. Los termoplásticos pueden ser moldeados y deformados repetidamente al calentarse, mientras que los materiales termoestables no pueden ser remodelados después de haber sido formados. Los termoplásticos son más frecuentes e incluyen, entre otros, el polietileno (PE), polipropileno (PP), tereftalato de polietileno (PET), cloruro de polivinilo (PVC) y poliestireno (PS). Por otro lado, algunos ejemplos de plásticos termoestables son el poliuretano (PUR) y las resinas o recubrimientos epoxi.

2.2.2.2. Polietileno

Aceromafe (2021) describe al polietileno como un polímero termoplástico de color blanquecino que se utiliza en una variedad de productos de uso diario. A menudo se le conoce simplemente como plástico, y su producción mundial alcanza hasta 65 millones de toneladas anualmente. La fórmula del polietileno es C_2H_4 , compuesta por dos grupos metileno (CH_2) unidos por un enlace doble; este plástico se obtiene a partir del monómero etileno. Aunque químicamente es un plástico básico, su resistencia, durabilidad y densidad pueden mejorarse al combinarlo con otros compuestos químicos. Además, es un material económico, no tóxico, no conductor y muy resistente.

Naeco (2024). Aunque se le evalúa como un plástico básico, al combinarlo con otras sustancias químicas, se logra

optimizar su resistencia, durabilidad y densidad. Es un material relativamente asequible y fácil de producir, lo que explica su amplio uso, alcanzando una producción aproximada de 80 millones de tonelerías anualmente. Dependiendo de su densidad, existen distintos tipos de polietileno: baja densidad, alta densidad y reticulados. Así que podemos afirmar que forma parte de una familia de plásticos.

2.2.2.3. Polietileno según su densidad

Quiminet (2010). indica que el polietileno, anteriormente conocido como "Poli metileno", forma parte del grupo de polímeros de las poliolefinas, que se derivan de alquenos (con enlaces dobles de hidrocarburos). Se trata de polímeros de mayor peso molecular y menor reactividad, ya que están compuestos por hidrocarburos saturados. Las macromoléculas de polietileno no están químicamente atadas entre sí, salvo en los productos reticulados. La clasificación de los polietilenos se realiza principalmente según su densidad (de acuerdo con el código ASTM) en: PEBD O LDPE (Polietileno de Baja Densidad), PELBD o LLDPE (Polietileno Lineal de Baja Densidad), PEAD o HDPE (Polietileno de Alta Densidad), HMW-HDPE (Polietileno de Alta Densidad Alto Peso Molecular) y UHMWPE (Polietileno de Ultra Alto Peso Molecular).

- **Polietileno de Baja Densidad (PEBD o LDPE):**

INFINITIA (2021). El PEBD presenta una gran ductilidad, aunque su resistencia a la tracción es baja, lo que lo hace más flexible en comparación con otros plásticos. Este material se emplea en la producción de artículos como bolsas de plástico, recipientes transparentes para alimentos, recipientes desechables y protectores para cables, entre otros.

Rojas (2023), destaca que este material se distingue por su flexibilidad, su resistencia a sustancias químicas y su capacidad para ser impermeable. Se utiliza en la fabricación de una variedad de productos, incluyendo bolsas para compras en supermercados, envoltorios, láminas de plástico, materiales de

empaques flexibles y componentes elaborados a través del moldeo por inyección.

- Polietileno Lineal de Baja Densidad (PELBD o LLDPE):

Tecnotanques (2016), menciona que este material presenta bastante resistencia al desgarro, a la tracción y a la perforación, además de que las películas fabricadas con él ofrecen un excelente alargamiento. Se utiliza en aplicaciones como películas estirables, películas que no se encojen, acolchado agrícola y bolsas para cargas pesadas. También cuenta con resistencia al impacto y puede soportar temperaturas extremadamente bajas, llegando hasta -95°C .

Jubedi (2019), señala que el polietileno de baja densidad lineal se diferencia del polietileno de baja densidad convencional por la ausencia de cadenas largas ramificadas. Esta linealidad del LLDPE es el resultado de los diferentes métodos de producción utilizados para el LLDPE y el LDPE. En términos generales, el LLDPE se fabrica a temperaturas y presiones más bajas mediante la copolimerización de etileno con buteno, hexeno u octeno. Este proceso de copolimerización da lugar a un polímero LLDPE que presenta una distribución del peso molecular más estrecha en comparación con la del LDPE.

- Polietileno de Alta Densidad (PEAD o HDPE):

Rojas (2023). Indica que el polietileno de alta densidad (HDPE) es un polímero termoplástico fundamental que ha revolucionado múltiples sectores, desde la construcción y el empaquetado hasta la automoción y la agricultura. Su resistencia, durabilidad y versatilidad lo han convertido en un material muy solicitado en diversas aplicaciones. Está presente en una gran variedad de usos industriales y comerciales, y su capacidad de reciclaje lo hace especialmente atractivo en la producción actual. La creación de HDPE inicia con un proceso controlado que implica la aplicación de altas temperaturas al petróleo; este proceso, conocido como "cracking", desintegra el petróleo y produce gas etileno.

Atarfil (2021) señala que las geomembranas de HDPE son esenciales y se han establecido como un estándar global para la protección ambiental. Se utilizan en la creación de nuevas celdas y en el sellado de vertederos, así como en cualquier aplicación que requiera la combinación de tres propiedades clave: máxima resistencia química, alta resistencia a condiciones climáticas extremas (como la radiación ultravioleta y el envejecimiento debido a los ciclos térmicos) e impermeabilidad a la mayoría de los gases que suelen estar presentes junto con el material a contener. Además, debido a sus características específicas, estas geomembranas son ideales para aplicaciones de almacenamiento de agua y en obras hidráulicas en general, como canales, depuración mediante lagunaje, lagos en campos de golf y acuicultura.

- Polietileno de Alta Densidad Alto Peso Molecular (HMW-HDPE):

Leadr (2023), explica que UHMW, o UHMWPE, se refiere al polietileno de ultra alto peso molecular, también conocido como polietileno de alto módulo (HMPE). Este material es un tipo de polietileno termoplástico que presenta cadenas largas de polímeros. Como consecuencia, UHMW es extremadamente resistente y ofrece la mayor resistencia al impacto entre todos los termoplásticos disponibles actualmente. Es un material que no tiene olor ni sabor y es no tóxico. Además, cuenta con una muy baja adsorción de humedad y un bajo coeficiente de fricción. UHMW proporciona una excelente durabilidad y resistencia a sustancias químicas y al agrietado a causa del estrés ambiental. También resiste al desgaste, al impacto y la corrosión, además de ser auto lubricante.

Tecnotanques (2016), indica que este material presenta características como un amplio rango de T° de operación, que va desde -40 hasta 120°C, así como una excelente resistencia al raspado. No retiene olores y es impermeable. Sus aplicaciones incluyen la fabricación de bolsas, películas,

tuberías a presión y envases para alimentos, entre otros.

Leadr (2023) menciona que el HDPE es un polímero termoplástico derivado del monómero etileno. A veces se le conoce como "alcateno" o "polietileno" cuando se utiliza en tuberías de HDPE. Las cadenas poliméricas de este material están muy compactas debido a su bajo grado de ramificación. Como resultado, el HDPE es relativamente duro y presenta una buena resistencia al impacto. Además, puede ser manipulado a temperaturas de hasta 120°C sin sufrir daños, lo que permite que el HDPE sea esterilizado en la autoclave.

- Polietileno de Ultra Alto Peso Molecular (UHMWPE):

Aceromafe (2021), describe un polímero altamente cristalino que resulta complicado de procesar; esto implica que no puede ser utilizado en técnicas de soplado, inyección o extrusión debido a su bajo índice de fluidez. Este material carece de olor y sabor, además de ser no tóxico. Posee un bajo coeficiente de fricción y es ligero, siendo más liviano que el agua. Su peso molecular promedio oscila entre 3.100,000 y 6.000,000, lo que lo hace diez veces más pesado que el HDPE (Polietileno de Alta Densidad). Las características del UHMW le otorgan una gran resistencia a la abrasión, a ambientes agresivos, al impacto y a la fatiga. Su resistencia térmica alcanza aproximadamente los 85°C, y actúa como aislante tanto térmico como eléctrico, lo que significa que es eficaz en la protección contra el calor y la electricidad.

Según Cura (2007), el polietileno de ultra-alto peso molecular (UHMWPE) se ha utilizado con éxito en aplicaciones biomédicas, como en prótesis de cadera y rodilla, durante más de 35 años, gracias a su biocompatibilidad y gran integridad mecánica. Sin embargo, la creciente utilización de estos componentes en pacientes jóvenes demanda una mayor durabilidad en su servicio, lo cual se ve limitado por propiedades mecánicas superficiales inadecuadas. Una forma de mejorar la resistencia al desgaste del UHMWPE es mediante el

entrecruzamiento de las cadenas poliméricas. Esto se puede lograr a través de tratamientos térmicos, procesos químicos, radiación gamma y radiación con electrones de alta energía, que modifican completamente las características mecánicas del material.

2.2.2.4. Problema de la contaminación de polietileno

El polietileno (PE) es uno de los polímeros sintéticos más utilizados a nivel mundial, especialmente en la fabricación de bolsas plásticas debido a su bajo costo y versatilidad. Sin embargo, su persistencia en el medio ambiente ha generado una crisis ecológica significativa, ya que puede tardar cientos de años en degradarse completamente (Geyer R, et al, 2017).

Según Juste (2022), uno de los efectos más alarmantes del polímero a nivel global es la contaminación de mares y océanos. En el Océano Pacífico del Norte, entre Japón y California, existe una zona con una alta concentración de desechos de polímeros conocida por distintas denominaciones, entre ellos "la isla de plástico". La presencia de plástico en el mar no solo afecta el paisaje, sino también la biodiversidad acuática. Los animales pueden enredarse con los plásticos o sufrir lesiones, y en algunos casos, esto puede llevar a su muerte, lo que resulta en una significativa pérdida de biodiversidad.

Freire (2024). se calcula que hay más de 150 millones de toneladas de polímeros en los mares en la actualidad, y año en año se añaden alrededor de 8 millones de toneladas más. Aunque no existe un porcentaje preciso y uniforme de polímeros en el océano, debido a la continua incorporación de nuevos desechos y las diferencias en la degradación y distribución del polímero representan una gran parte de esos residuos.

La acumulación de residuos plásticos, incluidos los de polietileno, ha sido identificada como una de las principales amenazas para los ecosistemas terrestres y marinos, afectando la biodiversidad y la calidad del suelo y del agua (Thompson et al., 2009).

2.2.2.5. Tiempo en degradar los plásticos

AIMPLAS (2023), la biodegradabilidad se refiere a la descomposición de un compuesto químico orgánico por microorganismos en presencia de oxígeno (condiciones aerobias), resultando en la producción de dióxido de carbono, agua, sales minerales y nueva biomasa. La primera etapa es la colonización de microbios, donde microorganismos especializados como bacterias y hongos se adhieren a la superficie del material plástico. Luego, en la etapa de liberación de enzimas, estos microorganismos secretan enzimas extracelulares que actúan como biocatalizadores, acelerando la descomposición al romper los enlaces del plástico y facilitando su degradación. Posteriormente, en la fase de fragmentación y absorción de carbono, el material plástico se descompone en partículas más pequeñas gracias a la acción de las enzimas y otros procesos físicos o químicos. Finalmente, en la etapa de biodegradación, los fragmentos de plástico descompuestos son completamente metabolizados por los microorganismos.

Roperó (2024), el polímero es un material que requiere mucho tiempo para desintegrarse, ya que su proceso de degradación en el medio ambiente es extremadamente lento. En resumen, podemos decir que, dependiendo de la clase de polímero, la desintegración puede tardar entre 100 y 1.000 años, siendo el promedio de 500 años.

Freire (2024), la desintegración de los polímeros se lleva a cabo mediante procesos fisicoquímicos y biológicos, pero es un proceso muy lento que varía según el tipo de polímero y las condiciones del entorno ambiental. Polímeros comunes como el polietileno y el polipropileno pueden tardar desde 500 hasta 1.000 años en descomponerse completamente en vertederos o en la naturaleza debido a su durabilidad. Sin embargo, factores como la exposición a los rayos solares (foto degradación), el oxígeno (oxidación) y la acción de varios microorganismos (biodegradación) afectan de manera directa a este proceso y

pueden apurarlo, aunque en la mayoría de los casos solo logran fragmentar al polímero en partículas más pequeñas sin destruirlo por completo.

2.2.2.6. Procesos de degradación del polietileno

La degradación del polietileno involucra la fragmentación del polímero en moléculas más pequeñas a través de procesos físicos y químicos. Los principales mecanismos de degradación incluyen:

- **Fotodegradación:** Ocurre cuando el polietileno es expuesto a la radiación ultravioleta del sol, lo que causa la ruptura de sus cadenas moleculares. Sin embargo, este proceso es extremadamente lento en ausencia de catalizadores o aditivos (Gewert B, et al, 2015).
- **Oxidación térmica:** La exposición a temperaturas elevadas acelera la fragmentación del polietileno, pero en condiciones naturales este proceso también es muy lento (Singh & Sharma, 2008).
- **Biodegradación:** Consiste en la revisión del polietileno a través de la acción de microorganismos y enzimas, transformándolo en biomasa, dióxido de carbono (CO₂) y agua (Yang et al., 2021).

2.2.2.7. Biodegradación del polietileno por insectos y microorganismos

Los estudios recientes han explorado la capacidad de ciertos insectos y sus microbiomas intestinales para degradar polietileno. En particular, las larvas de *Galleria mellonella* y *Zophobas morio* han demostrado una capacidad degradativa debido a la presencia de microorganismos en su sistema digestivo que descomponen los polímeros plásticos (Yang et al., 2020).

2.2.2.8. Factores que influyen en la biodegradación del polietileno

Según Roldán (2023), varios aspectos afectan de manera directa e indirecta en el proceso de degradación biológica de los

polímeros. Entre estos se incluyen el pH, la T° y la humedad del entorno, así como las propiedades químicas de los polímeros que componen al polímero, sus dimensiones y, además, las propiedades del microorganismo que desempeña el papel del organismo descomponedor.

Según Ahmed (2018), los niveles de humedad benefician el proceso de hidrólisis, lo que provoca un mayor número de reacciones que rompen las cadenas poliméricas y aumenta el grado de biodegradación. El pH también puede influir en la velocidad de las reacciones de hidrólisis que ocurren en algunos polímeros que se pueden hidrolizar. Los productos resultantes de la biodegradación de ciertos polímeros pueden alterar las condiciones de pH, afectando así el desarrollo microbiano y modificando la velocidad de la degradación, y viceversa. En cuanto a la T° , los polímeros con un alto punto de fusión son menos propensos a ser degradados. Incluso, el potencial enzimático disminuye considerablemente con el aumento de la T° .

También en la eficiencia de la biodegradación del polietileno se considera estos factores:

- **Condiciones ambientales:** La humedad, temperatura y presencia de oxígeno pueden influir en la tasa de biodegradación del polietileno (Rujnić & Pilipović, 2017).
- **Microbioma intestinal de los insectos:** La diversidad y composición de los microorganismos presentes en el intestino de los insectos afecta directamente su capacidad para descomponer plásticos (Yang et al., 2021).
- **Tiempo de exposición:** Estudios han demostrado que la biodegradación es más eficiente cuando las larvas están expuestas al polietileno por períodos prolongados, lo que permite una mejor adaptación de su microbioma a este sustrato (Arce, 2023).

2.2.2.9. Importancia de la biodegradación

Roldan (2023). La degradación biológica de los polímeros representa en la actualidad una oportunidad clave para manejar de manera más sostenible los desechos plásticos en el entorno medioambiental. La necesidad urgente de disminuir el cumulo excesivo y altamente contaminantes de los materiales sintéticos ha llevado a realizar evaluaciones e investigaciones científicas sobre la biodegradación de estos polímeros.

Rodríguez (2021), el proceso de descomposición biológica es crucial, ya que beneficia de manera directa a los entornos ambientales. Cuanto mayor sea el monto de materias degradables en el planeta, menores serán los efectos negativos de la contaminación.

Actualmente, muchas organizaciones están trabajando arduamente para motivar a los pobladores a adoptar el reciclado

2.3 DEFINICIONES CONCEPTUALES:

• Eficacia

La eficacia es la capacidad de una planificación para alcanzar los objetivos predeterminados en condiciones predispuesta. Por lo cual, asumir los retos en producción e implementarlos según sus propios estándares, (Galán, 2020).

• Comparación

La comparación es el acto y efecto de comparar, es decir, notar las diferencias y similitudes entre dos cosas, ya sean personas, objetos, lugares o cosas. La comparación puede incluir aspectos físicos o en cuestiones simbólicas, (Gardey, 2014).

• Degradación ambiental

La degradación ambiental se define como el proceso de degradación ambiental causado por el agotamiento de los recursos naturales debido a la sobreexplotación, lo que resulta en la destrucción de la biodiversidad y los ecosistemas (Portillo, 2020).

• Biodegradación

La biodegradación es la disolución química de materiales por bacterias

u otros agentes biológicos. El término a menudo se asocia con el medio ambiente, la ecología, la biomedicina y la gestión de residuos, y ahora se asocia a menudo con productos ecológicos que se pueden descomponer nuevamente en elementos naturales (Biopolcom, 2019).

- **Larva**

Es un animal en desarrollo que ha puesto huevos y es capaz de alimentarse por sí mismo, pero aún no ha desarrollado la forma y organización que caracterizan a las especies adultas de la especie (Merino, 2021).

- **Contaminación**

Se entiende como la introducción de una materia contaminante, ya sea en forma líquida, sólida o gaseosa, en su habitat natural. Estas sustancias, debido a sus características químicas, provocan desequilibrios y afectan el adecuado funcionamiento de los ecosistemas (Etecé, 2021).

- **Segregación**

Segregación es el proceso de agrupar determinados compuestos o componentes físicos de los residuos sólidos para poder gestionarlos de forma particular (MINAM, 2017).

- **Residuos solidos**

Los residuos sólidos son materiales que se desechan después de su vida útil y generalmente no tienen valor económico por sí mismos. Incluye principalmente materiales de desecho utilizados en la producción, transformación o uso de consumibles (Ambientum, 2019).

2.4 HIPÓTESIS

Hi: Existe diferencia significativa en la eficacia de degradación de bolsas de polietileno de baja densidad (PEBD) entre las larvas de *Zophobas morio* y *Galleria mellonella* en condiciones experimentales

Ho:No existe diferencia significativa en la eficacia de degradación de bolsas de polietileno de baja densidad (PEBD) entre las larvas de *Zophobas morio* y *Galleria mellonella* en condiciones experimentales.

2.5 VARIABLES

2.5.1. VARIABLE DE CALIBRACIÓN

Soluciones biológicas (Zophobas morio y Galleria mellonella).

2.5.2. VARIABLE EVALUATIVA

Degradación de bolsas de polietileno de baja densidad.

2.6 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

“Comparación de la eficacia de dos soluciones biológicas mediante el uso de las larvas *Zophobas morio* y *Galleria mellonella* para la degradación de bolsas de polietileno de baja densidad”

Variable de calibración	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensión	Indicadores	Unidad de medida	Tipo de variable y escala	Instrumentos
Soluciones biológicas	Las soluciones biológicas comprenden un conjunto de tecnologías y procesos que emplean e instrumentos que determinaran la toma de resultados de plantas, hongos, insectos o enzimas, con el objetivo de abordar diversos problemas ambientales (Hernández M, et al., 2020).	Se demostrará cronológicamente mediante ensayos utilizando equipos Zophobas morio y Galleria mellonella		Bandejas con contenido de polietileno de baja densidad	Peso (g)	Numérica	- Fichas de registro para la elaboración de datos
					Temperatura(°C)	Numérica	
					Tiempo de exposición (días)	Numérica	
					Humedad (%)	Numérica	
					Volumen (m3)	Numérica	
Variable evaluativa	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensión	Indicadores	Unidad de medida	Tipo de variable	Instrumentos
		Se analizará las		Peso	g	Numérica	

Degradación de bolsas de polietileno de baja densidad	Proceso biológico en el cual los residuos se transforman en compuestos más simples a través de la acción de agentes biológicos (MINAM, 2017).		características de las muestras clasificando por dimensiones para determinar la cantidad de los subproductos	Propiedades físicas		Humedad	%	Numérica	-Fichas	de
						Volumen	M3	Numérica	registro para la	
						Temperatura	°C	Numérica	elaboración de	
						Tamaño de partícula	de mm	Numérica	datos	
						Volumen (m3)	M3	Numérica		

CAPÍTULO III

MÉTODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

Según la intervención de los investigadores: Fue un tipo de investigación con intervención, porque se va a utilizar datos que provienen de mediciones controladas por el propio investigador (Supo & Zacarías, 2020, p.4). En ese sentido, durante la investigación, el investigador manipuló intencionalmente la variable de calibración mediante la aplicación de dos soluciones biológicas (larvas de *Zophobas morio* y *Galleria mellonella*) con el propósito de observar su efecto sobre la degradación de las bolsas de polietileno de baja densidad.

Según el control de la medición de la variable de estudio: Se trató de una investigación con planificación, porque se va a utilizar datos que provienen de mediciones o también llamados datos primarios, que serán realizados por el investigador (Supo & Zacarías, 2020, p.6). Por lo tanto, en este proyecto se realizaron mediciones de la cantidad de material orgánico sintético, temperatura, humedad, etc. lo que garantizará una participación activa y controlada del proceso experimental.

Según el número de variables analíticas: Fue un estudio analítico, porque relaciona y tiene la participación de más de dos variables (Supo & Zacarías, 2020, p.11). En ese sentido, la investigación incluyó dos variables analíticas: las soluciones biológicas (*Zophobas morio* y *Galleria mellonella*) y el nivel de degradación del polietileno de baja densidad. Dentro de la primera variable se midió la cantidad de larvas empleadas, mientras que en la segunda se realizaron mediciones del material sintético para determinar el grado de degradación alcanzado.

Según el número de mediciones sobre la variable de estudio: Fue un estudio longitudinal, debido a que las variables se midieron en dos momentos (pre test y post test) con la finalidad de establecer comparaciones. En ese sentido, esta investigación buscó determinar cuál de las dos soluciones biológicas resultó más eficaz en la degradación del polietileno de baja densidad.

3.1.1 ENFOQUE

Esta investigación tuvo un enfoque cuantitativo, ya que se basó en la recolección y análisis de datos numéricos con el fin de comprobar la hipótesis y establecer relaciones entre variables de manera objetiva. Este enfoque se caracterizó por ser secuencial, probatorio y estadístico, lo que permitió obtener resultados generalizables a partir de muestras representativas y controladas (Hernández, 2014, p. 04). Por lo tanto, la investigación permitió medir de forma precisa el nivel de degradación del polietileno de baja densidad expuesto a dos soluciones biológicas distintas, mediante la evaluación de indicadores como el peso del material antes y después del tratamiento, el tiempo de exposición y otros parámetros cuantificables.

3.1.2 ALCANCE O NIVEL

El nivel de investigación fue explicativo, ya que este tipo de estudio permitió comprender el por qué y el cómo de los fenómenos observados mediante la manipulación intencional de variables en un contexto experimental controlado (Supo y Zacarías, 2020, p.26). En ese sentido, el proyecto buscó identificar cuál de las dos soluciones biológicas generó un mayor efecto degradativo, aportando así a la explicación científica del comportamiento de estos organismos frente a residuos sintéticos.

3.1.3 DISEÑO

El diseño de la investigación fue experimental, ya que se tuvo en cuenta la manipulación y el control de las variables para el desarrollo del estudio. Según Zacarías (2020, p.26), este diseño se caracteriza por permitir un control riguroso de las condiciones en las que se desarrolla el estudio, con el propósito de establecer relaciones de causalidad entre las variables. En la presente investigación, el investigador ejerció un control sistemático sobre los factores experimentales, lo cual permitió comparar los resultados obtenidos entre ambas soluciones biológicas y determinar cuál presentó mayor eficacia.

N o	VARIABLES	MUESTRA Y DIAS DE INTERVENCION											
		GE-	GE-	GE-	GE-	GE-	GE-	GE-	GE-	GE-	GE-	GE-	GE-
1		A-0	A-3	A-6	A-9	A-12	A-15	A-18	A-21	A-24	A-27	A-30	
2		B-0	B-3	B-6	B-9	B-12	B-15	A-18	A-21	A-24	A-27	A-30	
3	Zhopobas morio	C-0	C-3	C-6	C-9	C-12	C-15	A-18	A-21	A-24	A-27	A-30	
4		D-0	D-3	D-6	D-9	D-12	D-15	A-18	A-21	A-24	A-27	A-30	
5		A-0	A-3	A-6	A-9	A-12	A-15	A-18	A-21	A-24	A-27	A-30	
6	Galleria	B-0	B-3	B-6	B-9	B-12	B-15	A-18	A-21	A-24	A-27	A-30	
7	mellonella	C-0	C-3	C-6	C-9	C-12	C-15	A-18	A-21	A-24	A-27	A-30	
8		D-0	D-3	D-6	D-9	D-12	D-15	A-18	A-21	A-24	A-27	A-30	
9	SIN INTERVENCION	GC-0	GC-3	GC-6	GC-9	GC-12	GC-15	GC-18	GC-21	GC-24	GC-27	GC-30	GC-30

Leyenda:

GE-A-1: Grupo experimental A con 01 día de intervención. **GE-A-5:** Grupo experimental A con 5 día de intervención. **GE-A-10:** Grupo experimental A con 10 día de intervención. **GE-A-15:** Grupo experimental A

con 15 día de intervención. **GE-A-20:** Grupo experimental A con 20 día de intervención **GE-A-25:** Grupo experimental A con 25 día de intervención **GE-A-30:** Grupo experimental A con 30 día de intervención **GC-1-:** Grupo control Z con 1 día de intervención.

Bombelli et al. (2017) Para calcular la capacidad degradativa de las larvas se utilizará la siguiente formula estadística, donde

$$\text{Capacidad Degradativa (\%)} = \left(\frac{(P_i - P_f) - ((C_i - C_f))}{P_i} \right) \times 100$$

P_i

Donde:

- **P_i** = Peso inicial del polietileno en el grupo experimental (con larvas)
- **P_f**= Peso final del polietileno en el grupo experimental
- **C_i** = Peso inicial del polietileno en el grupo control (sin larvas)
- **C_f** = Peso final del polietileno en el grupo control
- **CD** = Porcentaje de degradación real atribuible a las larvas

3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA

3.2.1 POBLACIÓN

La población de esta investigación estuvo conformada por bolsas de polietileno (representadas por bolsas negras) generadas en el Mercado Privado de Las Moras. Debido a la dinámica comercial del lugar, no se conoció la cantidad exacta de bolsas producidas diariamente.

3.2.2 MUESTRA

Según Supo (2014), la muestra basada en criterios consta de dos enfoques: el criterio del investigador o discrecional, y el criterio de un grupo de expertos, también llamado juicio o juicio de expertos. En esta investigación se adoptó la primera opción, correspondiente al criterio del investigador.

La muestra sometida a degradación consistió en 30 gramos de bolsas de polietileno de baja densidad (PEBD) por cada unidad de análisis, sumando un total de 270 gramos para todo el estudio.

Las muestras fueron recolectadas en el Mercado Privado de Las Moras y fueron seleccionadas de manera cuidadosa, separando exclusivamente bolsas de polietileno de baja densidad. Posteriormente, una vez obtenido el material sintético, este fue distribuido equitativamente en 9 bandejas, utilizando una balanza electrónica para garantizar la precisión en la conformación de las unidades de estudio.

La cantidad de larvas empleadas se definió tomando como referencia estudios previos de biodegradación en insectos, como los realizados por Yang et al. (2015). Adaptando dicha referencia a una escala práctica y observacional del presente estudio, se estableció una densidad experimental de 75 larvas por cada unidad de análisis (30 g de PEBD) en los grupos con intervención biológica, manteniéndose además un grupo control sin larvas, bajo condiciones ambientales controladas.

Justificación de la densidad larval: La densidad de 75 larvas por 30 g de PEBD se definió por criterios metodológicos y de viabilidad experimental. La literatura evidencia que la degradación del plástico por larvas depende, entre otros factores, de la densidad de organismos y del tiempo de exposición, ya que un mayor número de larvas incrementa la interacción con el polímero (perforación, fragmentación y consumo). Sin embargo, una extrapolación proporcional directa a partir de escalas pequeñas no resulta adecuada en condiciones de laboratorio, porque puede generar sobrecarga biológica (estrés, mortalidad o competencia). Por ello, se seleccionó una densidad intermedia (75 larvas/30 g), suficiente para producir una pérdida de masa medible del PEBD en 30 días y, al mismo tiempo, compatible con el manejo y mantenimiento de las unidades experimentales bajo condiciones controladas.

Tabla 1*Coordenadas UTM WGS-84 del mercadillo de las Moras*

Coordenadas UTM			
Posición	Este	Norte	Elevación
18 L	404185	9091912	2051 m
18 L	404186	9091924	2053 m
18 L	404187	9091231	2154 m
18 L	404188	9598954	2245 m
18 L	404189	9091954	2244 m
18 L	404189	9091975	2245 m
18 L	404187	9091238	2345 m

3.3 TÉCNICAS E INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Tabla 2

Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Variable	Indicadores	Técnica	Instrumento
Soluciones biológicas (Zophobas morio y Galleria mellonella)	• Tiempo de alimentación	de	• Regla
	• Masa	Registro	• Balanza analítica
	• Tiempo de exposición	de Observación	• Higómetro
	• Humedad		• Formula
Degradación de polietileno de baja densidad	• Temperatura		• Termómetro
	• Tamaño de partícula	de Observación	
	• Volumen	Medición (pesaje) Procesamiento de datos	

Además, se contó con instrumentos y registros complementarios para la recolección y organización de los datos. Para el sustento teórico se recurrió a fuentes bibliográficas y documentales relacionadas con la biodegradación de polímeros y el uso de larvas como alternativa biológica.

En el trabajo de campo (fase experimental), la información se registró mediante fichas de campo, las cuales permitieron sistematizar los datos por unidad experimental durante las diferentes fases del procedimiento. Se emplearon dos fichas: una correspondiente a la unidad de tratamiento y otra a la unidad de análisis, las cuales se presentan en los anexos 5 y 6, respectivamente.

La técnica principal para evaluar la degradación del PEBD fue la medición (pesaje), utilizando balanza para registrar el peso inicial y final del material y calcular la pérdida de masa y el porcentaje de degradación. De manera complementaria, se aplicó observación estructurada para describir cambios físicos visibles del PEBD y el estado general de las larvas, con apoyo de las fichas de campo.

Finalmente, las condiciones de temperatura, humedad, tiempo de exposición y masa inicial del PEBD se consideraron variables de control y se

mantuvieron uniformes en todas las unidades experimentales para asegurar la comparabilidad de los resultados.

Protocolo de actividades de campo Actividades previas

Obtención y traslado de las bolsas de polietileno de baja densidad

- Se coordinó con comerciantes/encargados del Mercado Privado de Las Moras para la disposición de bolsas usadas (residuos del día o de la semana, según acuerdo).
- Se recolectaron las bolsas de polietileno de baja densidad (PEBD) utilizando costales para su acopio.
- Se trasladó el material recolectado al laboratorio de la Universidad de Huánuco, donde se desarrolló el experimento.

Segregación de los residuos

- La segregación de los residuos sólidos se realizó de manera manual, clasificando únicamente los restos de polietileno de baja densidad, los cuales fueron vertidos en las bandejas de forma uniforme.

Pesaje inicial de las bolsas de polietileno

- Con una balanza analítica/digital se realizó el pesaje del PEBD segregado.
- Se prepararon porciones de 30 g de PEBD por bandeja, a fin de mantener la misma masa inicial en todas las unidades experimentales.

Actividades durante el experimento

Preparación y codificación de bandejas (unidades experimentales)

- Seguidamente, se distribuyeron 30 g de PEBD en cada bandeja, conformándose 9 unidades experimentales.
- Se establecieron 4 bandejas intervenidas con *Galleria mellonella*, 4 bandejas intervenidas con *Zophobas morio* y 1 bandeja control sin intervención biológica.

Intervención con larvas y exposición

- La dosis de intervención fue de 75 larvas de *Galleria mellonella* y 75 larvas de *Zophobas morio* por cada bandeja correspondiente (30 g de PEBD), mientras que la bandeja control permaneció sin larvas.
- Tras la intervención, las bandejas se mantuvieron en exposición durante el periodo experimental establecido (30 días), bajo condiciones controladas de laboratorio.

- Durante el seguimiento se registró el estado general de las larvas y cualquier incidencia relevante en fichas de campo.

Actividades durante el experimento

- Al finalizar los 30 días se retiró el PEBD de cada bandeja (tratamientos y control), separando cuidadosamente restos adheridos.
- Se realizó el pesaje final (g) del PEBD por unidad experimental con balanza analítica/digital y se registraron los datos en las fichas de campo.
- Se calculó la pérdida de masa ($\Delta m = \text{peso inicial} - \text{peso final}$) y el porcentaje de degradación $\% = (\Delta m / \text{peso inicial}) \times 100$, considerando el grupo control como referencia.
- Los datos fueron tabulados y procesados en SPSS, aplicándose la prueba t de Student y ANOVA según correspondió, con $\alpha = 0.05$.

3.3.1 PARA LA PRESENTACIÓN DE DATOS

En el presente proyecto de investigación se utilizaron tablas para organizar y presentar los datos procesados, y gráficos para visualizar el comportamiento y comparación de los resultados entre los tratamientos (*Galleria mellonella*, *Zophobas morio* y el grupo control) a lo largo del periodo experimental.

Asimismo, se emplearon medidas descriptivas para resumir los datos, principalmente la media (promedio) y medidas de dispersión (por ejemplo, desviación estándar o error estándar), a fin de describir con precisión las variaciones del porcentaje de degradación y facilitar la comparación entre especies. De esta manera, se identificó cuál de las dos soluciones biológicas presentó mayor eficacia en la degradación del polietileno de baja densidad.

3.3.2 TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

En este proyecto se obtuvieron datos sobre la degradación de las bolsas de polietileno de baja densidad (PEBD) mediante mediciones realizadas en distintos momentos del periodo experimental, permitiendo evaluar el comportamiento de la degradación a lo largo del tiempo en los tratamientos con larvas. Los datos fueron tabulados,

analizados y graficados utilizando el software SPSS.

Previamente, se aplicó la prueba de normalidad Shapiro-Wilk a los principales indicadores, lo que permitió sustentar el uso de pruebas paramétricas. Posteriormente, para contrastar la hipótesis de investigación se utilizó la prueba t de Student y un ANOVA de medidas repetidas para comparar los tratamientos Zophobas morio (ZM) vs. Galleria mellonella (GM) y evaluar el efecto del tiempo y la interacción Grupo $\times$ Tiempo, considerando un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$.

Nota metodológica: el grupo control lo usas como referencia experimental (para mostrar degradación mínima y/o ajustar la degradación neta), pero tu inferencia estadística (ANOVA RM) está planteada entre ZM vs GM según lo reportado en la tabla.

Técnicas para el procesamiento y análisis de la información.

Tabla 3

Técnicas para el procesamiento y análisis de la información

Ítem	Técnicas	Instrumentos
1	Procesador de datos numéricos	SPSS 24
2	Gráficos	Excel
3	Análisis descriptivo	Descripciones de las unidades de estudio

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1 PROCESAMIENTO DE DATOS

Tabla 4

Peso total de las larvas (gr) Zophobas morio y Galleria mellonella en condiciones controladas

Día	Promedio ZM*	E.E. ZM	Promedio GM**	E.E. GM
DIA 0	49.92	1.69	8.73	0.25
DIA 3	51.66	1.75	8.89	0.28
DIA 6	52.69	1.77	9.00	0.29
DIA 9	53.92	1.87	9.09	0.31
DIA 12	54.61	1.93	9.16	0.32
DIA 15	55.14	2.00	9.21	0.33
DIA 18	55.50	2.03	9.24	0.33
DIA 21	55.83	2.06	9.27	0.34
DIA 24	56.04	2.07	9.30	0.34
DIA 27	56.25	2.07	9.31	0.35
^a M.F.	56.30	2.06	9.31	0.35

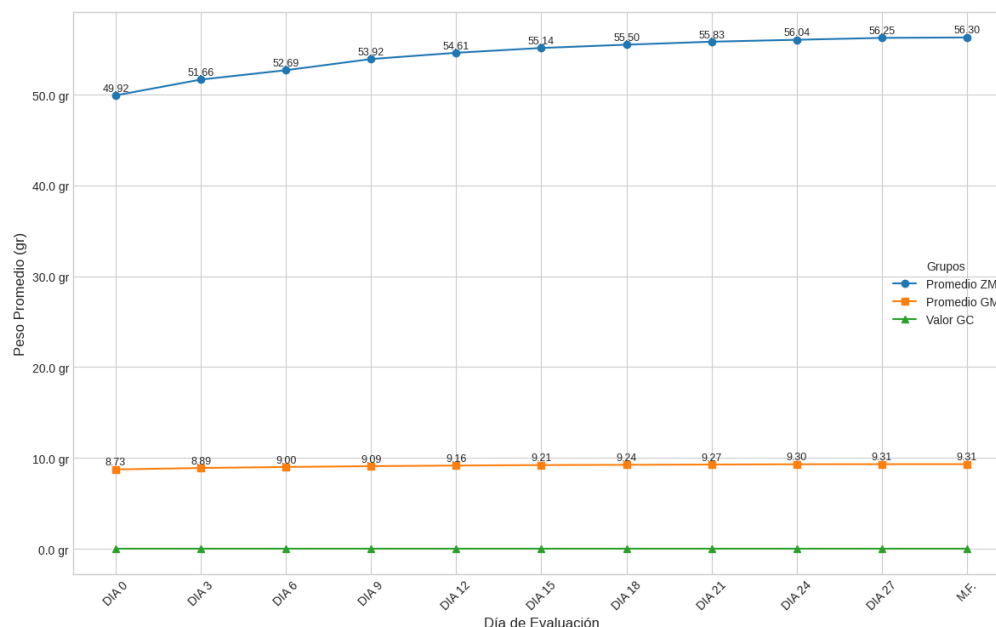
*Nota. Datos recopilados según cronograma *ZM= Zophobas morio; **GM= Galleria mellonella*

^a M.F= Medición final (Día 30)

La tabla de datos ilustra la evolución del peso total de las larvas para los grupos *Zophobas morio* (ZM) y *Galleria mellonella* (GM) a lo largo de 27 días. Se observa un crecimiento constante y significativo en la biomasa de ambos grupos, lo que indica su supervivencia y desarrollo bajo las condiciones del experimento. El grupo ZM, partiendo de un peso promedio inicial de 49.92 gr, alcanzó 56.30 gr, mientras que el grupo GM mostró un incremento más modesto, pasando de 8.73 gr a 9.31 gr. En todo momento, la masa de *Zophobas morio* fue sustancialmente mayor que la de *Galleria mellonella*, y el crecimiento sostenido en ambos sugiere una adaptación al sustrato de polietileno como fuente de energía. El grupo control no tuvo cambios.

Figura 4

Peso total de las larvas (gr) Zophobas morio y Galleria mellonella en condiciones controladas



Nota. Datos recopilados según cronograma

El gráfico ilustra la dinámica del peso promedio (biomasa) de las larvas de *Zophobas morio* (ZM) y *Galleria mellonella* (GM) durante el período de evaluación. Se observa una diferencia sustancial y persistente entre los dos grupos. La línea de ZM muestra un crecimiento constante y pronunciado, ascendiendo de aproximadamente 49.9 gr a 56.3 gr, lo que evidencia un aumento de biomasa significativo. En contraste, la línea de GM permanece relativamente plana, con un incremento marginal de 8.7 gr a 9.3 gr, indicando un crecimiento muy limitado. La línea del grupo control (GC) se mantiene en cero, funcionando como una línea base. Visualmente, el gráfico subraya que, bajo las condiciones del estudio, *Zophobas morio* no solo mantuvo una biomasa considerablemente mayor, sino que también demostró una capacidad de crecimiento muy superior a la de *Galleria mellonella*.

Tabla 5

Peso total de las excretas (gr) de Zophobas morio y Galleria mellonella en condiciones controladas

Día	Promedio	E.E.	L.I.	L.S.	Promedio	E.E.	L.I.	L.S.	Valor
	ZM	ZM	95%	95%	GM	GM	95%	95%	GC
			ZM	ZM			GM	GM	
DIA 0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0
DIA 3	0.20	0.02	0.13	0.27	0.08	0.01	0.04	0.12	0
DIA 6	0.34	0.04	0.22	0.45	0.36	0.20	-0.28	1.00	0
DIA 9	0.43	0.05	0.28	0.59	0.17	0.03	0.08	0.26	0
DIA 12	0.50	0.06	0.32	0.68	0.20	0.03	0.10	0.31	0
DIA 15	0.55	0.06	0.36	0.74	0.22	0.04	0.10	0.33	0
DIA 18	0.58	0.06	0.38	0.79	0.23	0.04	0.11	0.35	0
DIA 21	0.60	0.07	0.39	0.82	0.24	0.04	0.11	0.37	0
DIA 24	0.62	0.07	0.40	0.84	0.25	0.04	0.12	0.38	0
DIA 27	0.63	0.07	0.41	0.85	0.25	0.04	0.12	0.39	0
M.F.	0.64	0.07	0.41	0.86	0.26	0.04	0.12	0.39	0

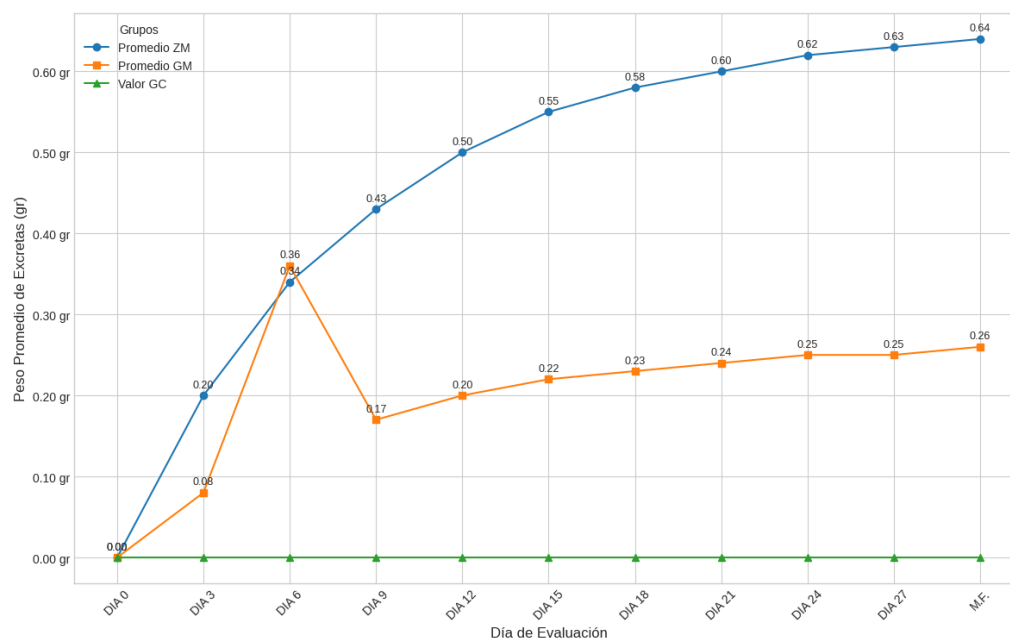
Nota. Datos recopilados según cronograma

Esta tabla detalla la acumulación del peso de las excretas, un indicador directo de la actividad metabólica y la consiguiente ingestión del sustrato de polietileno por parte de las larvas. Se evidencia un incremento progresivo y constante en la masa de excretas para ambos grupos a lo largo del estudio. El grupo *Zophobas morio* (ZM) demostró una producción notablemente superior, acumulando un promedio final de 0.64 gr. Por su parte, el grupo *Galleria mellonella* (GM) generó una cantidad considerablemente menor, alcanzando 0.26 gr al final del período. Esta diferencia cuantitativa sugiere una tasa de consumo y procesamiento metabólico del polietileno

significativamente mayor en *Zophobas morio* en comparación con *Galleria mellonella*, mientras que el valor nulo del grupo control confirma que la masa registrada es producto exclusivo de la actividad larvaria.

Figura 5

Peso total de las excretas (gr) de Zophobas morio y Galleria mellonella en condiciones controladas



Nota. Datos recopilados según cronograma

Este gráfico visualiza la producción acumulada de excretas, un indicador de la actividad metabólica de las larvas. La línea de *Zophobas morio* (ZM) muestra una curva de acumulación continua y consistentemente ascendente, lo que representa una actividad metabólica robusta y sostenida a lo largo del tiempo, culminando en el valor más alto (0.64 gr). En cambio, la línea de *Galleria mellonella* (GM) exhibe un comportamiento diferente, con un pico pronunciado en el día 6, seguido de una notable disminución y una posterior recuperación más lenta y gradual. La divergencia visual entre las dos curvas subraya la clara superioridad cuantitativa en la producción de excretas por parte de *Zophobas morio*, lo que sugiere una tasa de consumo del sustrato considerablemente mayor y más constante durante todo el período experimental.

Tabla 6

Peso total del polietileno expuestas a excretas (gr) de Zophobas morio y Galleria mellonella en condiciones controladas

Día	Promedio ZM	E.E. ZM	L.I. 95% ZM	L.S. 95% ZM	Promedio GM	E.E. GM	L.I. 95% GM	L.S. 95% GM	Valor GC
DIA 0	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
DIA 3	3.955	0.006	3.935	3.975	3.968	0.005	3.952	3.985	3.999
DIA 6	3.911	0.013	3.872	3.951	3.928	0.012	3.891	3.964	3.998
DIA 9	3.867	0.020	3.805	3.929	3.905	0.010	3.874	3.935	3.996
DIA 12	3.827	0.026	3.744	3.910	3.893	0.010	3.860	3.926	3.995
DIA 15	3.792	0.031	3.695	3.889	3.876	0.012	3.837	3.914	3.994
DIA 18	3.762	0.035	3.653	3.872	3.861	0.012	3.823	3.900	3.993
DIA 21	3.737	0.039	3.615	3.859	3.850	0.013	3.809	3.891	3.992
DIA 24	3.708	0.119	3.328	4.087	3.841	0.013	3.798	3.883	3.991
DIA 27	3.680	0.020	3.616	3.743	3.833	0.014	3.790	3.876	3.990
M.F.	3.663	0.019	3.603	3.722	3.826	0.014	3.781	3.870	3.990

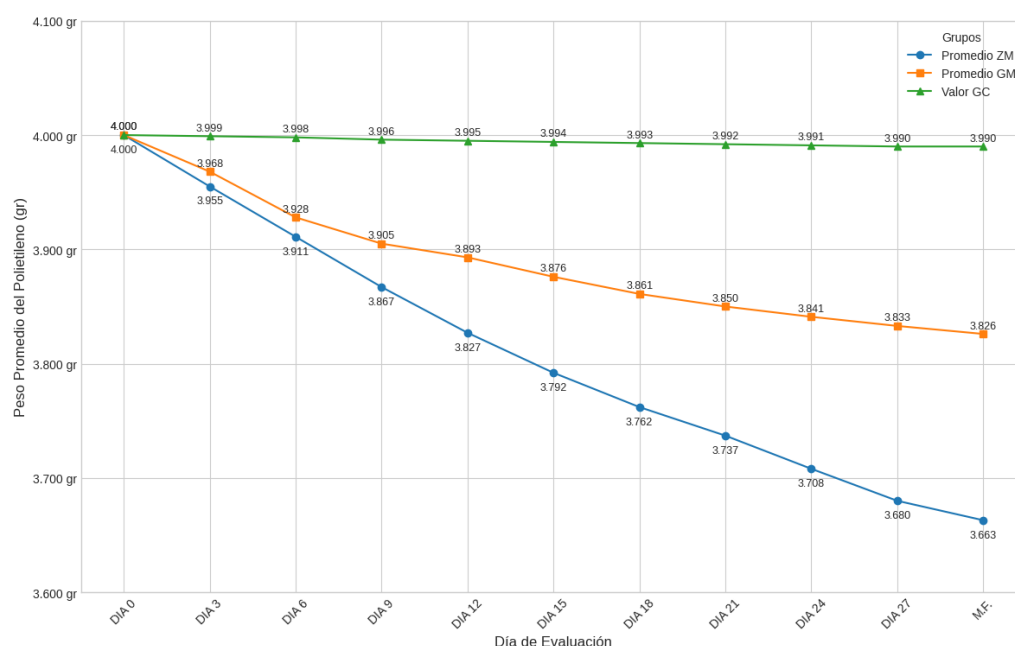
Nota. Datos recopilados según cronograma

Esta tabla presenta la evolución de la masa del polietileno a lo largo del experimento, sirviendo como el indicador principal del consumo por parte de las larvas. Se observa una reducción de peso progresiva y constante en los sustratos expuestos a ambos grupos de larvas. El grupo de *Zophobas morio* (ZM) evidencia la disminución más marcada, con el peso promedio del polietileno reduciéndose de 4.00 gr a 3.663 gr. El grupo de *Galleria mellonella* (GM) también muestra una reducción, aunque a un ritmo considerablemente menor, alcanzando un peso final de 3.826 gr. El grupo control (GC) es fundamental en esta interpretación, ya que su peso permaneció prácticamente

inalterado (disminuyendo solo a 3.990 gr), lo que confirma que la pérdida de masa significativa en los otros grupos se debe a la actividad biológica de las larvas y no a factores abióticos. En conclusión, los datos demuestran que, si bien ambas especies consumen el polímero, *Zophobas morio* posee una capacidad de consumo de polietileno sustancialmente superior a la de *Galleria mellonella*.

Figura 6

Peso total del polietileno expuestas a excretas (gr) de Zophobas morio y Galleria mellonella en condiciones controladas



Nota. Datos recopilados según cronograma

El gráfico muestra la disminución del peso promedio del polietileno a lo largo de los 27 días del experimento, lo cual refleja directamente el consumo por parte de las larvas. Se aprecian tres tendencias distintas: la línea de *Zophobas morio* (ZM) exhibe la pendiente descendente más pronunciada, indicando un consumo rápido y sostenido que reduce el peso del material de 4.0 gr a 3.663 gr. La línea de *Galleria mellonella* (GM) también muestra una tendencia a la baja, pero su pendiente es notablemente menos inclinada, terminando en un peso de 3.826 gr, lo que evidencia un consumo más lento y menos voraz. Finalmente, la línea del grupo control (GC) permanece casi horizontal en la marca de 4.0 gr, con una disminución insignificante, lo que confirma que la pérdida de masa observada es un resultado directo de la actividad biológica de las larvas.

Tabla 7

*Porcentaje de degradación al usar *Zophobas morio* y *Galleria mellonella* en condiciones controladas*

Día	Promedio ZM	E.E. ZM	L.I. 95% ZM	L.S. 95% ZM	Promedio GM	E.E. GM	L.I. 95% GM	L.S. 95% GM	Valor GC
DIA 0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
DIA 3	1.097	0.156	0.601	1.593	0.759	0.135	0.331	1.188	0.033
DIA 6	2.154	0.293	1.223	3.086	1.725	0.233	1.014	2.436	0.063
DIA 9	3.239	0.380	2.030	4.448	2.302	0.211	1.630	2.974	0.093
DIA 12	4.199	0.457	2.747	5.652	2.806	0.265	2.046	3.565	0.120
DIA 15	5.048	0.506	3.439	6.658	3.216	0.302	2.257	4.174	0.148
DIA 18	5.771	0.518	4.119	7.422	3.544	0.306	2.571	4.516	0.173
DIA 21	6.383	0.510	4.763	8.002	3.804	0.323	2.777	4.832	0.198
DIA 24	6.892	0.489	5.338	8.446	4.018	0.331	2.966	5.070	0.220
DIA 27	7.395	0.485	5.853	8.937	4.193	0.338	3.179	5.207	0.243
M.F.	7.805	0.491	6.244	9.366	4.341	0.351	3.220	5.461	0.263

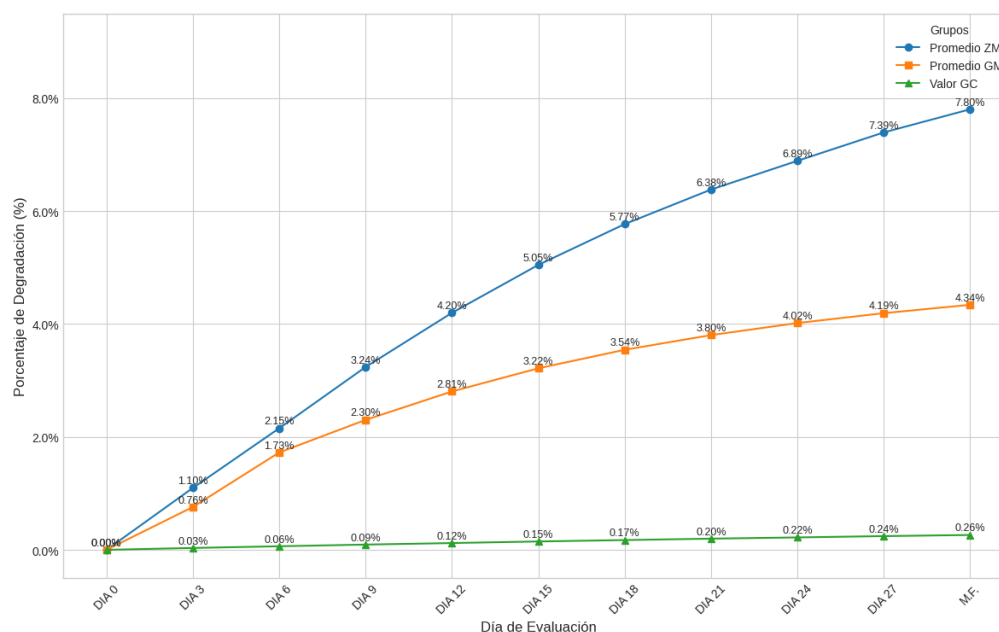
Nota. Datos recopilados según cronograma

Esta tabla muestra el porcentaje de degradación del polietileno, el indicador clave del éxito del experimento. Los datos revelan un aumento continuo y progresivo en la degradación para ambos grupos de larvas a lo largo del tiempo. El grupo de *Zophobas morio* (ZM) demuestra una capacidad de degradación notablemente superior, alcanzando un promedio final del 7.81%. El grupo de *Galleria mellonella* (GM), aunque también efectivo, muestra un rendimiento menor, llegando a un 4.34% de degradación al final del estudio. El grupo control (GC) presenta una degradación mínima (0.26%), confirmando que el proceso es casi exclusivamente resultado de la acción

biológica de las larvas. En conclusión, los resultados indican que *Zophobas morio* es significativamente más eficiente en la degradación del polietileno que *Galleria mellonella* bajo las condiciones estudiadas.

Figura 7

Porcentaje de degradación al usar *Zophobas morio* y *Galleria mellonella* en condiciones controladas



Nota. Datos recopilados según cronograma

Este gráfico compara directamente la eficiencia de degradación del polietileno a lo largo del tiempo. La línea de *Zophobas morio* (ZM) muestra la pendiente ascendente más pronunciada, lo que indica una capacidad de degradación superior y más rápida, alcanzando un 7.80% al final del estudio. La línea de +6

(GM) también demuestra una degradación efectiva pero a un ritmo visiblemente más lento, llegando a un 4.34%. La línea del grupo control (GC), que permanece casi plana en la base del gráfico, confirma que la degradación observada es un proceso biológico. La divergencia creciente entre las curvas de ZM y GM ilustra de manera clara la mayor eficacia de *Zophobas morio* a medida que avanza el experimento.

Tabla 8*Humedad ambiental al usar Zophobas morio y Galleria mellonella en condiciones controladas*

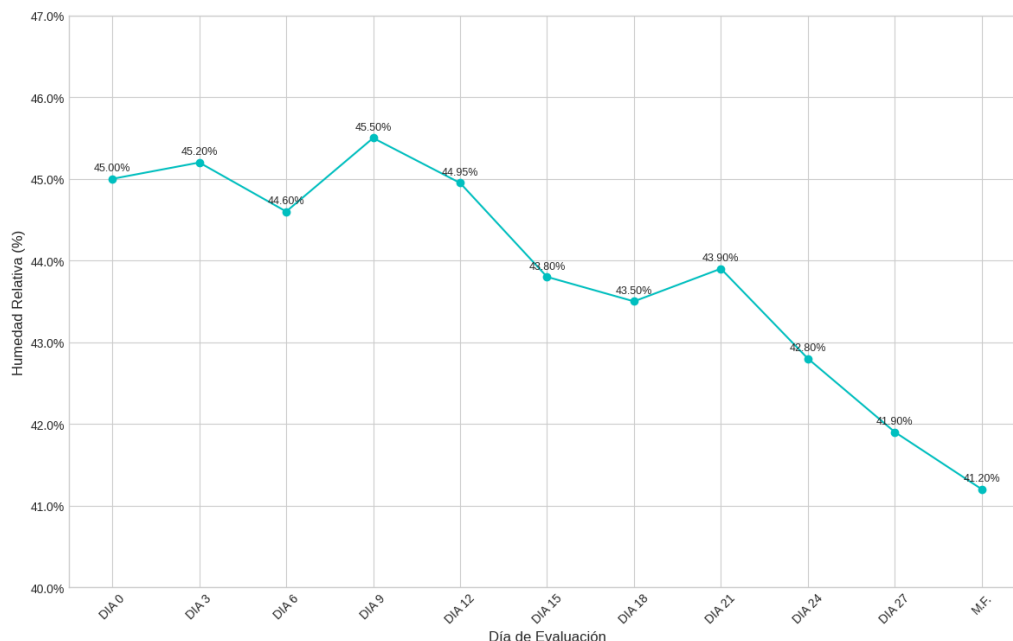
Día	Promedio ZM	E.E. ZM	L.I. 95% ZM	L.S. 95% ZM	Promedio GM	E.E. GM	L.I. 95% GM	L.S. 95% GM	Valor GC
DIA 0	45.0	0	45.0	45.0	45.0	0	45.0	45.0	45.0
DIA 3	45.2	0	45.2	45.2	45.2	0	45.2	45.2	45.2
DIA 6	44.6	0	44.6	44.6	44.6	0	44.6	44.6	44.6
DIA 9	45.5	0	45.5	45.5	45.5	0	45.5	45.5	45.5
DIA 12	44.95	0	44.95	44.95	44.95	0	44.95	44.95	44.95
DIA 15	43.8	0	43.8	43.8	43.8	0	43.8	43.8	43.8
DIA 18	43.5	0	43.5	43.5	43.5	0	43.5	43.5	43.5
DIA 21	43.9	0	43.9	43.9	43.9	0	43.9	43.9	43.9
DIA 24	42.8	0	42.8	42.8	42.8	0	42.8	42.8	42.8
DIA 27	41.9	0	41.9	41.9	41.9	0	41.9	41.9	41.9
M.F.	41.2	0	41.2	41.2	41.2	0	41.2	41.2	41.2

Nota. Datos recopilados según cronograma

Esta tabla presenta los registros de la humedad ambiental, una variable de control del experimento. Los datos muestran que los valores de humedad fueron idénticos para todos los grupos (*Zophobas morio*, *Galleria mellonella* y el grupo control) en cada día de medición, lo que indica que la condición ambiental fue consistente y uniforme para todas las muestras. La humedad fluctuó a lo largo del estudio, comenzando en 45.0% y disminuyendo gradualmente hasta un 41.2% al final. Esta tabla confirma que las diferencias en los resultados de degradación no pueden ser atribuidas a variaciones en la humedad entre los distintos grupos.

Figura 8

Humedad ambiental al usar Zophobas morio y Galleria mellonella en condiciones controladas



Nota. Datos recopilados según cronograma

Este gráfico representa la fluctuación de la humedad relativa ambiental a lo largo del período experimental. La línea muestra que, si bien la condición fue uniforme para todas las muestras en cada momento, no fue estática durante el estudio. Se observa una tendencia general a la baja, con la humedad partiendo de un 45.0%, alcanzando un pico de 45.5% en el día 9, y descendiendo progresivamente hasta su punto más bajo de 41.2% en la medición final. Este gráfico es fundamental para la metodología, ya que documenta las condiciones ambientales controladas bajo las cuales se llevó a cabo el experimento, confirmando que todos los grupos estuvieron expuestos a las mismas variaciones de humedad.

Tabla 9

Temperatura ambiental al usar Zophobas morio y Galleria mellonella en condiciones controladas

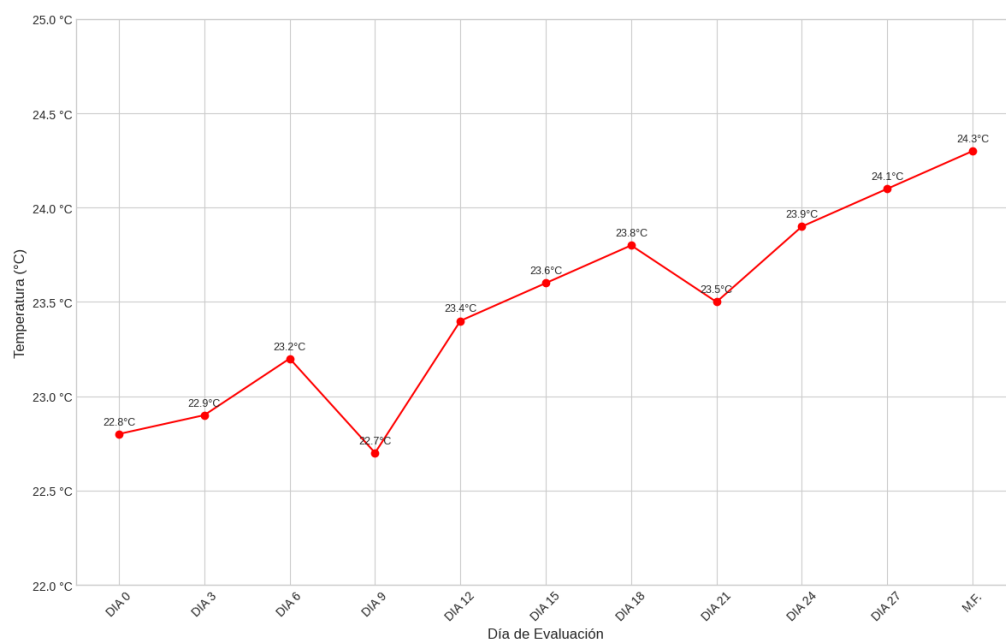
Día	Promedio ZM	E.E. ZM	L.I. 95% ZM	L.S. 95% ZM	Promedio GM	E.E. GM	L.I. 95% GM	L.S. 95% GM	Valor GC
DIA 0	22.8	0	22.8	22.8	22.8	0	22.8	22.8	22.8
DIA 3	22.9	0	22.9	22.9	22.9	0	22.9	22.9	22.9
DIA 6	23.2	0	23.2	23.2	23.2	0	23.2	23.2	23.2
DIA 9	22.7	0	22.7	22.7	22.7	0	22.7	22.7	22.7
DIA 12	23.4	0	23.4	23.4	23.4	0	23.4	23.4	23.4
DIA 15	23.6	0	23.6	23.6	23.6	0	23.6	23.6	23.6
DIA 18	23.8	0	23.8	23.8	23.8	0	23.8	23.8	23.8
DIA 21	23.5	0	23.5	23.5	23.5	0	23.5	23.5	23.5
DIA 24	23.9	0	23.9	23.9	23.9	0	23.9	23.9	23.9
DIA 27	24.1	0	24.1	24.1	24.1	0	24.1	24.1	24.1
M.F.	24.3	0	24.3	24.3	24.3	0	24.3	24.3	24.3

Nota. Datos recopilados según cronograma

Esta tabla documenta la temperatura ambiental, una variable de control clave del estudio. Los datos confirman que la temperatura fue exactamente la misma para todos los grupos (*Zophobas morio*, *Galleria mellonella* y control) en cada una de las mediciones, asegurando la uniformidad de las condiciones térmicas. A lo largo del experimento, la temperatura fluctuó en un rango estrecho, generalmente entre 22.7°C y 24.3°C. Esta consistencia es metodológicamente importante, ya que permite concluir que las diferencias observadas en la actividad de las larvas no son un artefacto de variaciones de temperatura entre las muestras.

Figura 9

Temperatura ambiental al usar Zophobas morio y Galleria mellonella en condiciones controladas



Nota.

Datos recopilados según cronograma

Este gráfico muestra la variación de la temperatura ambiental a lo largo del tiempo del experimento. La línea indica que, aunque la temperatura se mantuvo dentro de un rango relativamente estable (entre 22.7°C y 24.3°C), no fue constante, presentando fluctuaciones a lo largo de los 30 días. Dado que esta condición térmica fue aplicada de manera uniforme a todos los grupos de estudio, el gráfico sirve para documentar el perfil de temperatura específico bajo el cual se observaron los resultados, confirmando que las diferencias de rendimiento entre las especies no se debieron a variaciones de temperatura entre ellas.

Tabla 10*Prueba de normalidad con Shapiro Wilk*

Indicador	Grupo	Estadístico (W)	p-valor
Peso Total de Larvas (gr)	ZM	0.893	0.399
	GM	0.771	0.082
Peso de Excreta (gr)	ZM	0.992	0.95
	GM	0.925	0.569
Peso del Polietileno (gr)	ZM	0.949	0.71
	GM	0.941	0.655
Porcentaje de Degradación (%)	ZM	0.985	0.898
	GM	0.942	0.665

Nota. Datos recopilados según cronograma

Los resultados del test de Shapiro-Wilk, aplicado a los datos de los cuatro indicadores, sugieren que las muestras no presentan una desviación significativa de la normalidad. Para todos los grupos de datos analizados, el p-valor obtenido fue superior al nivel de significancia estándar ($\alpha = 0.05$), por lo cual no se rechaza la hipótesis nula de normalidad. Consecuentemente, se considera justificado el uso de pruebas estadísticas paramétricas, como la prueba t de Student o ANOVA, para los análisis comparativos subsecuentes.

4.2 CONTRASTACIÓN Y PRUEBA DE HIPÓTESIS

Hi: Existe diferencia entre las dos soluciones biológicas mediante el uso de las larvas *Zophobas morio* y *Galleria mellonella* para la degradación de bolsas de polietileno de baja densidad.

Ho: No existe diferencia entre las dos soluciones biológicas mediante el uso de las larvas *Zophobas morio* y *Galleria mellonella* para la degradación de bolsas de polietileno de baja densidad.

Tabla 11*Prueba de hipótesis con t de Student y ANOVA*

Análisis Realizado	Hipótesis Probada	Estadístico	Valor	Grados de Libertad (gl)	p-valor
ANOVA de Medidas Repetidas (a lo largo del tiempo)	1. Diferencia general entre grupos (ZM vs. GM)	F	12.6	(1, 6)	0.012
	2. Cambio general a lo largo del tiempo	F	101.48	(10, 60)	< 0.001
	3. Diferencia en la tasa de degradación (Interacción Grupo x Tiempo)	F	4.98	(10, 60)	< 0.001

Nota. Datos procesados con SPSS, versión 26

- Conclusión Directa: Al final del experimento, *Zophobas morio* fue significativamente más eficaz para degradar el polietileno que *Galleria mellonella*.

ANOVA de Medidas Repetidas

- Efecto de Grupo: El p-valor de 0.012 confirma lo que vimos con la prueba t: en general, considerando todos los momentos del tiempo, el rendimiento de ZM fue significativamente diferente al de GM.
- Efecto de Tiempo: El p-valor menor a 0.001 es algo esperado. Simplemente confirma que, para ambos grupos, el porcentaje de degradación aumentó significativamente desde el día 0 hasta el final.
- Efecto de Interacción: Este es el resultado clave del ANOVA. El p-valor menor a 0.001 nos dice que la diferencia entre los grupos cambió a lo largo del tiempo. En otras palabras, la tasa de degradación (la velocidad) no fue la misma. La superioridad de *Zophas morio* no fue constante, sino que probablemente se fue haciendo más evidente a medida que avanzaba el experimento.

La combinación de ambas pruebas nos permite afirmar con un alto grado de confianza estadística que *Zophobas morio* no solo fue superior a *Galleria mellonella* al final del estudio, sino que también demostró una tasa de degradación significativamente más rápida a lo largo de los 30 días del experimento.

Adicionalmente, la inclusión del grupo control es fundamental para validar y contextualizar estos hallazgos. Este grupo, que no fue expuesto a las larvas, mostró una degradación final mínima de solo 0.263%. Al contrastar este valor prácticamente nulo con los promedios significativamente más altos de los grupos experimentales (7.81% para *Zophobas morio* y 4.34% para *Galleria mellonella*), se demuestra de manera concluyente que la degradación del polietileno es atribuible a la actividad biológica de las larvas y no a factores abióticos o a la degradación natural durante el período de estudio. En esencia, el grupo control sirve como la línea base que confirma la eficacia y la causalidad del tratamiento biológico investigado.

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los resultados del presente estudio evidencian diferencias claras entre la capacidad degradativa de las larvas *Zophobas morio* y *Galleria mellonella* sobre el polietileno de baja densidad (PEBD). En conjunto, los indicadores evaluados —biomasa larvaria, producción de excretas, variación del peso del PEBD y porcentaje de degradación— muestran un patrón consistente que permite interpretar una mayor eficiencia de *Z. morio* bajo condiciones experimentales controladas.

En primer lugar, el **incremento de biomasa** en ambos grupos sugiere que las condiciones del laboratorio permitieron la **supervivencia y mantenimiento fisiológico** de las larvas durante el periodo de evaluación. Sin embargo, el grupo de **Z. morio** presentó valores de biomasa total significativamente mayores que **G. mellonella** durante todo el experimento (de 49.92 g a 56.30 g en ZM; frente a 8.73 g a 9.31 g en GM), lo que refleja un desempeño biológico superior en términos de vigor y crecimiento en las condiciones del estudio.

Un segundo indicador clave fue la **producción de excretas**, debido a que refleja la actividad alimentaria y el procesamiento interno del sustrato. Los datos muestran que **Z. morio** produjo una masa promedio final de **0.64 g de excretas**, mientras que **G. mellonella** alcanzó **0.26 g**, es decir, menos de la mitad. Esto es coherente con una mayor actividad de ingestión y procesamiento en *Z. morio*. Asimismo, el comportamiento de GM presentó un pico marcado alrededor del día 6, seguido de fluctuaciones, lo que podría interpretarse como una respuesta adaptativa inicial al sustrato, con posterior limitación fisiológica frente a un material de bajo valor nutritivo.

Respecto al indicador principal, la **variación del peso del PEBD**, se observó una disminución progresiva en ambos tratamientos con larvas; sin embargo, el patrón fue más marcado en **Z. morio**. En términos de **peso final del PEBD**, el grupo ZM alcanzó **3.663 g**, mientras que GM alcanzó **3.826 g**; el grupo control se mantuvo prácticamente estable en **3.990 g**, lo cual confirma que la pérdida de masa observada en los tratamientos se asocia a la acción biológica de las larvas y no a factores abióticos. Esta interpretación se refuerza

porque las condiciones ambientales se aplicaron de forma uniforme a todos los grupos, sin diferencias de temperatura entre tratamientos.

El porcentaje de degradación integró la evidencia anterior y mostró resultados superiores para *Z. morio* (7.81%) frente a *G. mellonella* (4.34%), mientras que el control registró una disminución mínima (0.263%).

Estos hallazgos fueron respaldados por el análisis estadístico mediante ANOVA de medidas repetidas, que confirmó: (1) diferencias significativas entre grupos ($F=12.6$; $p=0.012$), (2) incremento significativo a lo largo del tiempo ($F=101.48$; $p<0.001$) y (3) una interacción grupo×tiempo significativo ($F=4.98$; $p<0.001$), lo que indica que no solo hubo diferencia final, sino también diferencia en la tasa de degradación a lo largo del experimento.

Desde una perspectiva comparativa, estos resultados son consistentes con antecedentes que reportan mayor desempeño degradativo de *Z. morio* frente a *G. mellonella* en contextos experimentales, y también con estudios que señalan variabilidad del rendimiento de *G. mellonella* dependiendo del diseño, dieta complementaria y tiempo de exposición. En consecuencia, la convergencia entre los indicadores metabólicos (biomasa y excretas), el indicador de consumo (peso del PEBD) y la evidencia estadística respalda la hipótesis del estudio: existen diferencias significativas entre ambas soluciones biológicas, siendo *Zophobas morio* más eficaz bajo las condiciones evaluadas.

Finalmente, la inclusión del **grupo control** fortalece la validez interna del experimento al demostrar que la pérdida de masa del PEBD no puede atribuirse a degradación espontánea, sino al proceso asociado a la intervención biológica. En conjunto, los hallazgos posicionan a ***Zophobas morio*** como una alternativa biológica más eficiente y estable para futuras investigaciones orientadas al manejo de residuos plásticos.

CONCLUSIONES

1. Se concluye que existe una diferencia en la eficacia degradativa del polietileno de baja densidad (PEBD) entre ambas soluciones biológicas evaluadas. Al término del experimento, *Zophobas morio* alcanzó una degradación del **7.81 %**, mientras que *Galleria mellonella* alcanzó **4.34 %**, consolidando a *Z. morio* como la alternativa biológica más eficiente para la degradación del PEBD dentro del periodo y condiciones evaluadas. Dado que las condiciones ambientales se mantuvieron relativamente estables y homogéneas para todos los tratamientos, las diferencias encontradas se atribuyen al desempeño biológico propio de cada especie y no a variaciones del entorno experimental.
2. En relación con el tiempo y la dinámica de degradación, el análisis estadístico mediante ANOVA de medidas repetidas evidenció diferencias significativas entre los grupos ($F = 12.60$; $p = 0.012$), un incremento significativo de la degradación a lo largo del tiempo ($F = 101.48$; $p < 0.001$) y una interacción **Grupo $\times$ Tiempo** significativa ($F = 4.98$; $p < 0.001$). Esto indica que la **tasa de degradación del PEBD no solo aumentó conforme avanzó el experimento, sino que evolucionó de manera diferente en cada especie**, siendo *Z. morio* la que mostró un patrón temporal más favorable frente a *G. mellonella*.
3. Respecto a las variaciones en los parámetros físicos del PEBD, se constató una **pérdida progresiva de masa** y alteraciones en la integridad del material en los tratamientos con larvas, en contraste con el **grupo control**, que solo registró una degradación mínima (≈ 0.263 %). Esto confirma que los cambios físicos relevantes en el PEBD están asociados principalmente a la **intervención biológica de las larvas** y no a una pérdida de masa espontánea o puramente abiótica en el mismo periodo experimental.
4. En cuanto a la capacidad degradativa de *Zophobas morio*, esta especie mostró no solo la mayor reducción del PEBD, sino también un **mejor desempeño biológico general**. Su biomasa total se incrementó de 49.92 g a 56.30 g, y la producción de excretas (frass) alcanzó **0.64**

g, valores superiores a los registrados en *G. mellonella*. Estos indicadores son coherentes con una mayor ingestión y procesamiento del sustrato plástico, lo que respalda el potencial de *Z. morio* como organismo clave para futuros ensayos orientados al manejo biológico de residuos plásticos.

5. Finalmente, respecto a ***Galleria mellonella***, se determinó que, si bien su capacidad degradativa del PEBD fue **inferior a la de *Zophobas morio***, logró una degradación acumulada del **4.34 %** y un ligero incremento de biomasa (de 8.73 g a 9.31 g), acompañado de una producción de frass de **0.26 g**. Estos resultados indican que *G. mellonella* sí posee potencial biodegradativo sobre el PEBD, aunque su eficiencia es menor bajo las condiciones ensayadas, por lo que su uso podría considerarse complementario o sujeto a optimización en estudios posteriores.

RECOMENDACIONES

1. Replicar el experimento incrementando el tiempo de exposición y realizando mediciones periódicas estandarizadas, a fin de evaluar si el porcentaje de degradación del PEBD aumenta de manera sostenida y se mantiene la diferencia de eficacia entre *Zophobas morio* y *Galleria mellonella*.
2. Mantener y reforzar el grupo control en futuras réplicas, asegurando las mismas condiciones ambientales y de manejo experimental, con el fin de estimar con mayor precisión la degradación atribuible exclusivamente a la intervención biológica.
3. Estandarizar el procedimiento de pesaje del PEBD (retiro del material, separación de residuos adheridos, secado previo y pesaje con la misma balanza), para reducir sesgos por humedad o residuos y garantizar comparabilidad entre tratamientos.
4. En próximos estudios, evaluar diferentes densidades larvales por unidad experimental (por ejemplo, variar el número de larvas manteniendo constante la masa inicial del PEBD), con el fin de identificar la relación densidad–eficacia degradativa y optimizar el rendimiento del proceso.
5. Incorporar análisis complementarios (cuando sea posible) como registro fotográfico sistemático del PEBD, medición de perforaciones/fragmentación y/o evaluación del cambio físico del polímero, para fortalecer la evidencia del proceso degradativo más allá del cambio de masa.
6. Realizar estudios que incluyan el análisis del microbioma intestinal y/o actividad enzimática asociada a la degradación en ambas especies, con el propósito de comprender los mecanismos biológicos que explicarían el mayor desempeño de *Zophobas morio* en las condiciones evaluadas.
7. Considerar ensayos con condiciones controladas adicionales (rango de temperatura/humedad) y, si corresponde, pruebas con y sin dieta complementaria, para evaluar cómo influyen estos factores en la supervivencia larval y en la tasa de degradación del PEBD.

8. Promover que los hallazgos se utilicen como base para proyectos de investigación aplicada y educación ambiental en contextos locales (por ejemplo, gestión de residuos del Mercado Privado de Las Moras), siempre bajo criterios de bioseguridad y manejo responsable de organismos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aceromafe (2021). Aplicaciones del polietileno de ultra alto peso molecular. <https://n9.cl/232yo>
- Aceromafe (2021). Qué es y para qué sirve el polietileno en la industria. <https://n9.cl/h3pyj>
- Ahmed, T., Shahid, M., Azeem, F., Rasul, I., Shah, A., Noman, M., Hameed, A., Manzoor, N., Manzoor, I. y Muhammad, S. (2018). Biodegradación de plásticos: situación actual y perspectivas futuras para la seguridad ambiental. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(8), 7287– 7298. <https://n9.cl/obokq>
- AIMPLAS (2023). *Que es la biodegradación de plásticos*. <https://n9.cl/jrcv7>
- Ambientum. (2019). *Qué son los residuos sólidos*. Ambientum. <https://www.ambientum.com/ambientum/residuos/que-son-losresiduos- solidos.asp>
- Arce, J. (2023). Biodegradación de Tereftalato de polietileno (PET) mediante el uso de larvas de *Zophobas morio* y *Galleria mellonella* – Lima, 2023. [Título de Tesis, Universidad César Vallejo]. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/144724>
- Atarfil (2021). *Polietileno de alta densidad*. <https://n9.cl/zxi6f>
- Biopolcom. (2019). *Qué es la biodegradación*. Biopolcom. <https://biopolcom.cl/index.php/2019/07/19/que-es-la-biodegradacion/>
- Bombelli, P., Howe, C.J, y Bertocchini, F. (2017). Biodegradación del polietileno por las orugas de la polilla de la cera *Galleria mellonella*. *Current Biology*, 27 (8), 292-293. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2017.02.060>
- BOTANICAL-ONLINE. (2023). *Cría de Zophobas*. <https://www.botanical-online.com/animales/zophobas-morio-cria>.
- Brandon, AM, Gao, S. H., Tian, R. M., Ning, D. L., Yang, S. S., Zhou, J. Z., & Ren, N. Q. (2018). Biodegradation of polyethylene and plastic mixtures in mealworms (larvae of *Tenebrio molitor*) and effects on the gut microbiome. *Environmental Science & Technology*, 52(11), 6526– 6533. <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b02301>

- Calizaya, C. (2019). *Evaluación del polietileno como alimento de la Galleria mellonella como alternativa en la biodegradación*. [Tesis de Título, Universidad Privada de Tacna]. <https://repositorio.upt.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12969/1264/Calizaya-Silva-Claudia.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Cardozo, M. (2020). Descomposición de poliestireno expandido por larvas de *Tenebrio molitor* L. (Coleóptera: Tenebrionidae), en un entorno controlado de laboratorio. [Tesis de Título, Universidad Nacional Abierta y a Distancia]. <https://n9.cl/7470k>
- Chávez, E. y Riofrio, I. (2019). Evaluación de la Influencia de la Función Digestiva del *Zophobas morio* en la Biodegradación de tres tipos de plástico. [Tesis de Título, Universidad César Vallejo]. <https://n9.cl/yk8do3>
- Chávez, M. y Lizama, P. (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 Institucional UCSS. <https://repositorio.ucss.edu.pe/item/f9afb0ef-a163-4ae8-a29c-1dd7dd63c107>
- Condezo, V. (2022). Eficiencia de las larvas *Tenebrio molitor* en la biodegradación de polímeros, Huánuco 2019. [Tesis de Título, Universidad de Huánuco]. <https://n9.cl/cqruf>
- Cura, F. (2007). Propiedades nanomecánicas de polietileno de ultra peso molecular de grado irradiado con iones. <https://n9.cl/vh135>
- Diario correo (2015). Huánuco genera 120 toneladas de basura al día. <https://lc.cx/UKOID>
- DKV (2024). Tipos de plásticos: clasificación y reciclaje. <https://n9.cl/61w24>
- Freire, N. (2024). Que es el plástico y por qué tarda tanto en degradarse. <https://n9.cl/cup2i>
- Galán, J. S. (2020). *Eficacia*. Economipedia: <https://economipedia.com/definiciones/eficacia.html>
- Gardey, J. P. (2014). *Comparación*. Definición de.: <https://definicion.de/comparacion/>
- Gewert, B., Plassmann, MM y MacLeod, M. (2015). Vías de degradación de

- polímeros plásticos que flotan en el entorno marino. *Environmental Science: Processes & Impacts*, 17(9), 1513-1521. <https://doi.org/10.1039/C5EM00207A>
- Geyer, R., Jambeck, JR y Law, KL (2017). Producción, uso y destino de todos los plásticos fabricados en la historia. *Science Advances*, 3(7), e1700782. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1700782>
- González, MA, Ramírez, PL, & Fernández, JR (2020). Biología y control de *Galleria mellonella* en colmenas de *Apis mellifera*. *Revista de Entomología Aplicada*, 45(3), 112-125.
- GRUPO BANCO MUNDIAL (2018). Los desechos: un análisis actualizado del futuro de la gestión de los desechos sólidos. <https://lc.cx/F1ENP8>
- Hernández, M, López, J & Salazar, G. (2020). Biotecnología ambiental: desafíos y perspectivas en la aplicación de tecnologías combinadas para mejorar la remediación y la generación. *Revista Peruana de Biología*, 27(1), 43–48. <https://doi.org/10.15381/rpb.v27i1.17578>
- Hernández S., Fernández C. y Baptista L. Editor, Rocha M. (ed.). (2014). *Metodología de la investigación*. (6.^a ed., M. Rocha, Ed.). <https://lc.cx/zsB84A>.
- INABIO (2023). Estudio aborda la diversidad genética y capacidad degradadora de residuos orgánicos y plásticos de la mosca soldado negra. <https://n9.cl/d73cpg>
- INFINITIA (2021). Materiales plásticos: Tipos, composición y usos. <https://n9.cl/17s1q>
- Joaquín, E. (2022). Mira como comen poliespán estos supergusanos, aunque la dieta plástica no les sienta bien. <https://n9.cl/7s64t>
- Jorjão, A. L., Oliveira, L. D., Scorzoni, L., Figueiredo-Godoi, L. M. A., Cristina, A., Prata, M., & Jorge, A. O. C. (2018). From moths to medicine: *Galleria mellonella* as a model for biomedical research and in vivo approach to microbial interaction. *Virulence*, 9(1), 383–389. <https://doi.org/10.1080/21505594.2017.1397871>
- Jubedi (2019). LLDPE (*polietileno baja densidad lineal*). <https://n9.cl/1kft8>
- Juste, I. (2022). *Que son las islas de plástico y como se forman*. <https://n9.cl/kyjkk>
- Leadr. (2023). *UHMW frente a HDPE*. <https://n9.cl/dwww1>

- Martínez, L. (2023). Estudio del microbioma intestinal de *Zophobas morio* (Coleóptera: Tenebrionidae) como aproximación al uso potencial para la biodegradación del poliestireno. [Tesis de Título, Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira]. <https://n9.cl/v34m3>
- Merino, P. (2021). *Larva*. Definición de: <https://definicion.de/larva/#:~:text=Una%20larva%20es%20un%20cie>
r
- Ministerio del Ambiente. (2021). *Informe técnico sobre el Proyecto de Ley 399/2021-CR: Prohibición del tecnopor*. Gobierno del Perú. <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2617362/MINAM%20sobre%20PL%20399-2021CR%20Tecnopor%2015.12.2021%20%282%29.pdf.pdf>
- MINSA (2014). Problemática de residuos sólidos En Huánuco. <https://lc.cx/XBVvuF>
- Morote, K. y Vásquez, J. (2023). Estudio de escarabajo amazónico *Zophobas opacus* (Coleoptera: Tenebrionidae) para incluirlo como alimento vivo en sistemas de crianza de fauna silvestre en cautiverio, peces ornamentales y de consumo. <https://n9.cl/hp90r>
- Municipalidad Provincial de Huánuco. (2021). *Plan de gestión de residuos sólidos de la ciudad de Huánuco*. Huánuco, Perú. [https://www.munihuanuco.gob.pe/intranetmunihco/archivos/RESOLUCIO N%20N%C2%B0%20190-2021-MPHCO-GM.pdf](https://www.munihuanuco.gob.pe/intranetmunihco/archivos/RESOLUCIO%20N%C2%B0%20190-2021-MPHCO-GM.pdf)
- Naeco (2024). *Que es el polietileno*. <https://n9.cl/szsks>
- OCDE. (2022). *Global plastic waste set to almost triple by 2060*. Organization for Economic Co-operation and Development. <https://www.oecd.org/en/about/news/press-releases/2022/06/global-plastic-waste-set-to-almost-triple-by-2060.html>
- Oceana. (2023). *¿Es realmente posible un mar peruano sin plásticos?* <https://peru.oceana.org/blog/es-realmente-posible-un-mar-peruano-sin-plasticos/>
- OUR NEWS (2018). Cada día en promedio, se generan más de 18 mil toneladas de residuos en Perú, de los cuales tan solo se recicla el 15%. <https://lc.cx/DQ2swL>
- Our World in Data. (2022). *Plastic pollution*. <https://ourworldindata.org/plastic->

pollution

- Park, JH, Lee, SH, Kim, YK y Kim, JS (2019). Hábitat y distribución ecológica de *Galleria mellonella* en diferentes regiones climáticas. *Journal of Applied Entomology*, 143(5), 451-463. <https://doi.org/10.1111/jen.12617>
- Portillo, S. R. (2020). *Degradación ambiental: qué es, causas, consecuencias y ejemplos*. *Ecología Verde*: <https://www.ecologiaverde.com/degradacion-ambiental-que-es-causasconsecuencias-y-ejemplos-3105.html>
- Quezada, V. y Ventura, D. (2022). Revisión Sistemática: Eficacia del gusano de cera *Galleria mellonella* para la biodegradación de materiales plásticos. [Tesis de Título, Universidad Cesar Vallejo]. https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/111136/Quezada_AVG-Ventura_SDK-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Quiminet (2010). Clasificación del polietileno con base a su densidad. <https://n9.cl/v4rhr>
- Ramírez, PL, Sánchez, CA y Ortega, MJ (2021). Morfología y hábitos alimenticios de *Galleria mellonella*: un análisis entomológico aplicado. *Revista de Ciencias Biológicas*, 39(2), 78-89.
- Risso, I. (2022). *Zophobas morio*, la especie de gusanos que come plásticos. <https://n9.cl/qrks1>
- Rivera, N. (2023). Comparación de la eficacia de la capacidad degradativa de la larva tenebrio *Molitor* para la biodegradación de envases descartables (en base a fécula de maíz y poliestireno), Huánuco - 2022. [Tesis de Título, Universidad de Huánuco]. <https://n9.cl/m207a>
- Rodríguez, G. (2021). Biodegradación, en que consiste y como beneficia al ambiente. <https://n9.cl/gq7du>.
- Rojas, T. (2023). Polietileno de baja densidad: guía de propiedades, aplicaciones y beneficios. <https://n9.cl/pi49y>
- Ropero, S. (2024). *Cuanto tarda en degradarse el plástico*. <https://n9.cl/wpt4>
- Rujnić S, y Pilipović, A. (2017). Desafíos y oportunidades de los plásticos biodegradables: una mini revisión. *Waste Management & Research*, 35(2), 132-140. <https://doi.org/10.1177/0734242X16683272>
- Singh, B., y Sharma, N. (2008). Implicaciones mecanicistas de la degradación

- del plástico. *Polymer Degradation and Stability*, 93(3), 561–584.
<https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2007.11.008>
- Supo, J. (2014). *Cómo elegir una muestra – Técnicas para seleccionar una muestra representativa*. (49). Bioestadístico EIRL.
file:///C:/Users/Royer%20Michael/Downloads/Jose-Supo-Como-elegir-una-muestra%20(1).pdf
- Supo, J. y Zacarías, H. (2020). Metodología de la investigación científica: para las ciencias de la salud y las ciencias sociales (Ed. Independently Published). <https://n9.cl/gnovix>.
- Tecnotanques (2016). *Clasificación polietileno*. <https://n9.cl/m099e>
- The conversation (2022). Los gusanos que degradan plástico en 40 minutos. <https://n9.cl/4r8oc>
- Thompson, R. C., Moore, C. J., vom Saal, F. S., & Swan, S. H. (2009). Plastics, the environment and human health: Current consensus and future trends. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1526), 2153-2166.
<https://doi.org/10.1098/rstb.2009.0053>
- Úbeda, M. y Michel, J. (2021). Manual de manejo de crianza de *Zophobas*. Revista Nicaragüense de Entomología, 233, 1021-0296.
<https://n9.cl/ihuno>
- Úbeda, M., Abarca, G., Quiroz, Carmen, G. y Michel, J. (2020). Factores que influyen en el proceso de metamorfosis de *Zophobas spp.* en sistemas de crianza. *Revista Nicaragüense de entomología*, 188, 1021-0296.
<https://n9.cl/qiptl>
- Ventura, C. (2024). Eficiencia de insectos y microorganismos asociados degradadores de poliestireno identificados en América, Asia y Europa, 2015-2021. [Tesis de Título, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo].
file:///C:/Users/Royer%20Michael/Downloads/Ventura_Bernilla_Clotilde_y%20Ze%C3%B1a_Quesqu%A9n_Julissa_Elizabeth.pdf
- Yang, SS, Ding, MQ, Liu, YX, Li, XM y Yang, JC (2020). Análisis comparativo de la biodegradación del polietileno por *Zophobas morio* y *Tenebrio molitor* utilizando técnicas de secuenciación del microbiota intestinal. *Journal of Hazardous Materials*, 397, 122792.
- Yang, SS, Wu, WM, Brandon, AM, Fan, HQ, Receveur, JP, Li, Y., y Wang, ZY

(2020). Ubicuidad de los productos de degradación del poliestireno en los microbiomas intestinales del gusano de la harina. *Environmental Science & Te.*

Yang, Y., Yang, J., Wu, W. M., Zhao, J., Song, Y., Gao, L., & Yang, R. (2021). Biodegradation of polyethylene by bacterial and fungal isolates. *Frontiers in Microbiology*, 12, 1-12. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.608713>

Yang, Y., Yang, J., Wu, W. M., Zhao, J., Song, Y., Gao, L., Yang, R. & Jiang, L. (2015). Biodegradation and mineralization of polystyrene by plastic-eating mealworms: part 1. chemical and physical characterization and isotopic tests. *Environmental Science and Technology*, 49(20), 12080-12086. <https://n9.cl/v19i2>

CÓMO CITAR ESTE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Vélez, A. (2026). Comparación de la eficacia de dos soluciones biológicas mediante el uso de las larvas *Zophobas morio* y *Galleria mellonella* para la degradación de bolsas de polietileno de baja densidad. [Tesis. Universidad de Huánuco]. Repositorio institucional UDH.

ANEXOS

ANEXO 1

MATRIZ DE CONSISTENCIA

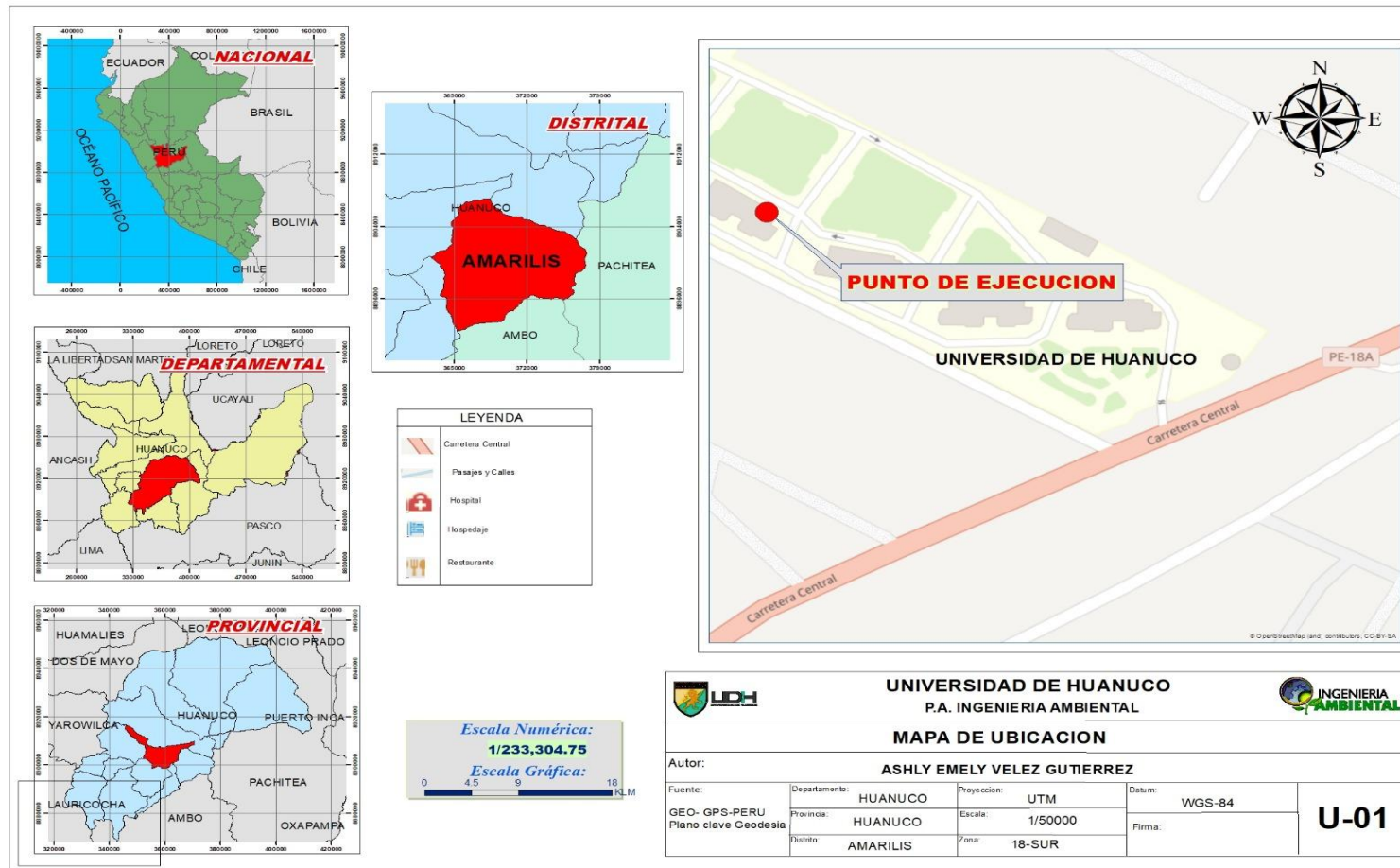
Título: “Comparación de la eficacia de dos soluciones biológicas mediante el uso de las larvas *Zophobas morio* y *Galleria mellonella* para la degradación de bolsas de polietileno de baja densidad”

Problema General	Objetivo General	Hipótesis General	Variables/Indicadores	Metodología
¿Cuál es la eficacia comparativa de dos soluciones biológicas mediante el uso de las larvas <i>Zophobas morio</i> y <i>Galleria mellonella</i> para la degradación de bolsas de polietileno de baja densidad?	Determinar la eficacia comparativa de las dos soluciones biológicas mediante el uso de las larvas <i>Zophobas morio</i> y <i>Galleria mellonella</i> para la degradación de bolsas de polietileno de baja densidad	Hi: existe diferencia entre las dos soluciones biológicas mediante el uso de las larvas <i>Zophobas morio</i> y <i>Galleria mellonella</i> para la degradación de bolsas de polietileno de baja densidad	Variable de calibración: - Soluciones biológicas Variable evaluativa: Degradación de bolsas de polietileno de baja densidad Parámetros físicos: - Peso inicial	Tipo: Prospectivo, con intervención, longitudinal y analítico (Supo & Zacarías, 2020, p.6). Enfoque: Según Supo y Zacarias
Problemas Específicos	Objetivos Específico			

¿Cuál es la diferencia en el tiempo de degradación del polietileno de baja densidad entre las larvas <i>Zophobas morio</i> y <i>Galleria mellonella</i> en condiciones controladas?	Comparar el tiempo de degradación de polietileno de baja densidad por las bolsas de polietileno de baja densidad de <i>Zophobas morio</i> y <i>Galleria mellonella</i> en condiciones controladas.	- Peso final - Altura - Tiempo de descomposición	(2020) el enfoque es Cuantitativo de Nivel Según Supo y Zacarias
¿Qué variaciones se observan en los parámetros físicos del polietileno de baja densidad durante su exposición a las larvas <i>Zophobas morio</i> y <i>Galleria mellonella</i> ?	Evaluar las variaciones en los parámetros físicos del polietileno de baja densidad durante su exposición a las larvas <i>Zophobas morio</i> y <i>Galleria mellonella</i> .	- Nivel de temperatura - Nivel de humedad	Diseño Según Supo y Zacarias (2020) el nivel es Aplicativo
¿Cuál es la capacidad degradativa de la larva <i>Zophobas morio</i> sobre la larva <i>Galleria mellonella</i> ?	Determinar la capacidad degradativa de la larva <i>Zophobas morio</i> sobre la larva <i>Galleria mellonella</i> .		
¿Cuál es la capacidad degradativa de la larva <i>Galleria mellonella</i> sobre las bolsas de polietileno de baja densidad en condiciones controladas?	Determinar la capacidad degradativa de la larva <i>Galleria mellonella</i> sobre las bolsas de polietileno de baja densidad en condiciones controladas.		
¿Cuál es la capacidad degradativa de la larva <i>Galleria mellonella</i> sobre las bolsas de polietileno de baja densidad en condiciones controladas?	Determinar la capacidad degradativa de la larva <i>Galleria mellonella</i> sobre las bolsas de polietileno de baja densidad en condiciones controladas.		

ANEXO 2

PLANO DE UBICACIÓN



ANEXO 3

FICHAS DE REGISTRO PARA LA ELABORACIÓN DE DATOS



FICHA DE CAMPO DE LA UNIDAD DE TRATAMIENTO



“Comparación de la eficacia de dos soluciones biológicas mediante el uso de las larvas <i>Zophobas morio</i> y <i>Galleria mellonella</i> para la degradación de bolsas de polietileno de baja densidad”												
FICHA DE CAMPO DE LA UNIDAD DE TRATAMIENTO												
DATOS PERSONALES												
UNIVERSIDAD:												
FACULTAD:								ESCUELA:				
TESISTA:								NUMERO DE CONTROL:				
DEPARTAMENTO:				PROVINCIA:					DISTRITO:			
VARIABLE DE CALIBRACIÓN			CAPACIDAD DEGRADATIVA DE LARVAS									
Tratamientos	Código de muestra	FECHA DE	Cantidad inicial de	Cantidad final de	Porcentaje de mortalidad de	Tamaño inicial de	Tamaño final de	Masa inicial de	Masa final de	Tiempo de aliment	Observaciones	FECHA

	stras	INICI O	larvas (unidad)	larvas (unidad)	larvas (%)	larvas (cm)	larvas (cm)	larvas (gramo s)	larvas (gramo s)	ación (días)		FINA L
Zophobas morio	t1r1											
	t1r2											
	t1r3											
	t1r4											
	t1r5											
Gallería mellonella	t2r1											
	t2r2											
	t2r3											
	t2r4											
	t2r5											

ANEXO 4

FICHAS DE REGISTRO PARA LA ELABORACIÓN DE DATOS

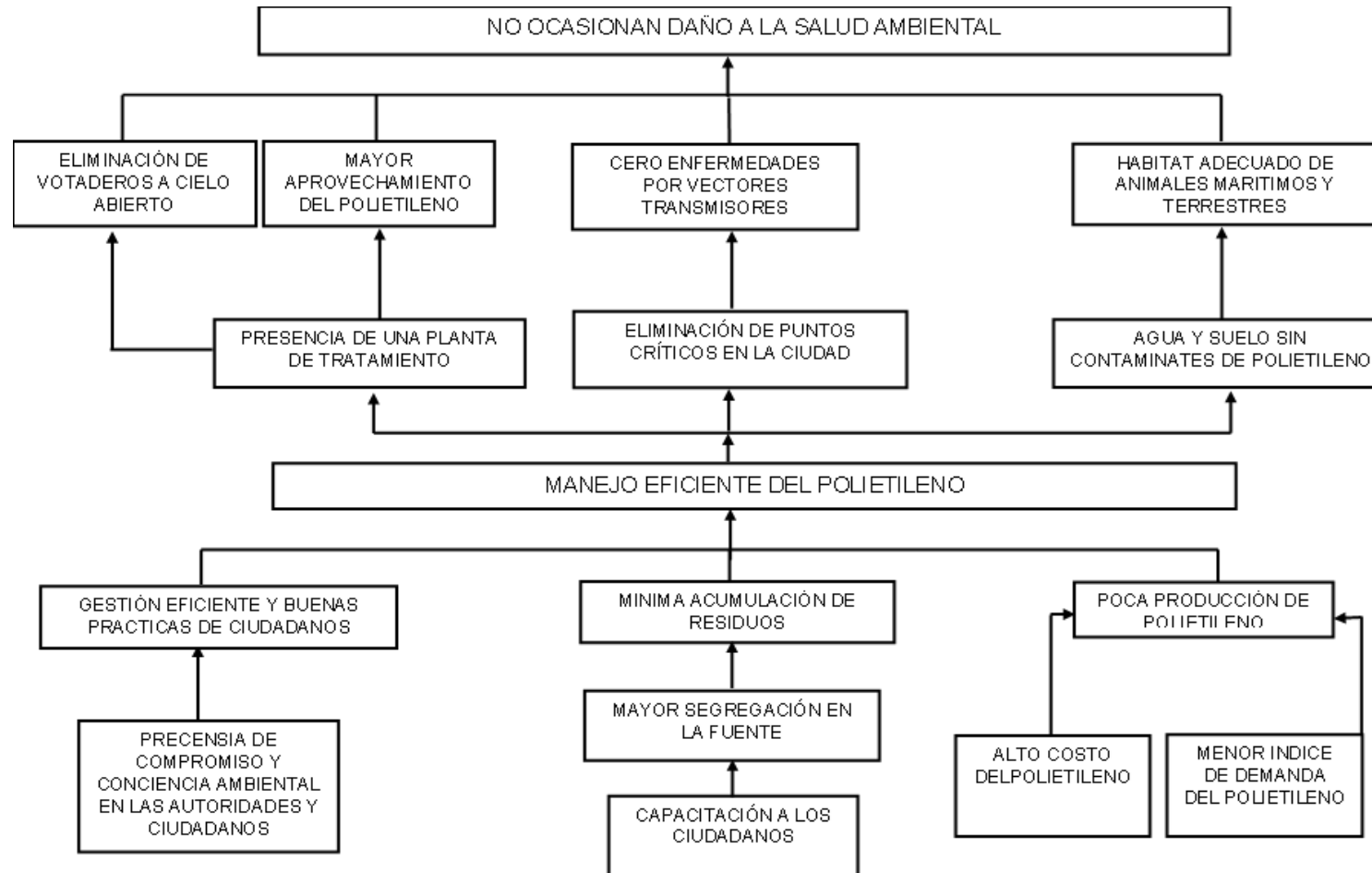
FICHA DE CAMPO DE LA UNIDAD DE ANÁLISIS

UNIVERSIDAD:										
FACULTAD:										
TESISTA:										
DEPARTAMENTO:				PROVINCIA:				DISTRITO:		
VARIABLE EVALUATIVA			DEGRADACION DE BOLSAS DE POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD							
Tratamie ntos	Código de muestra s	FECHA DE INICIO	Humedad (%)	Temperat ura (°C)	Masa de polietileno inicial (gramos)	Masa de polietileno final (gramos)	Degrada ción de polietilen o (%)	Cantidad de excretas (gramos)	Observacion es	FECHA FINAL
Zophobas morio	t1r1									
	t1r2									
	t1r3									
	t1r4									
	t1r5									

Gallería mellonella	t2r1									
	t2r2									
	t2r3									
	t2r4									
	t2r5									

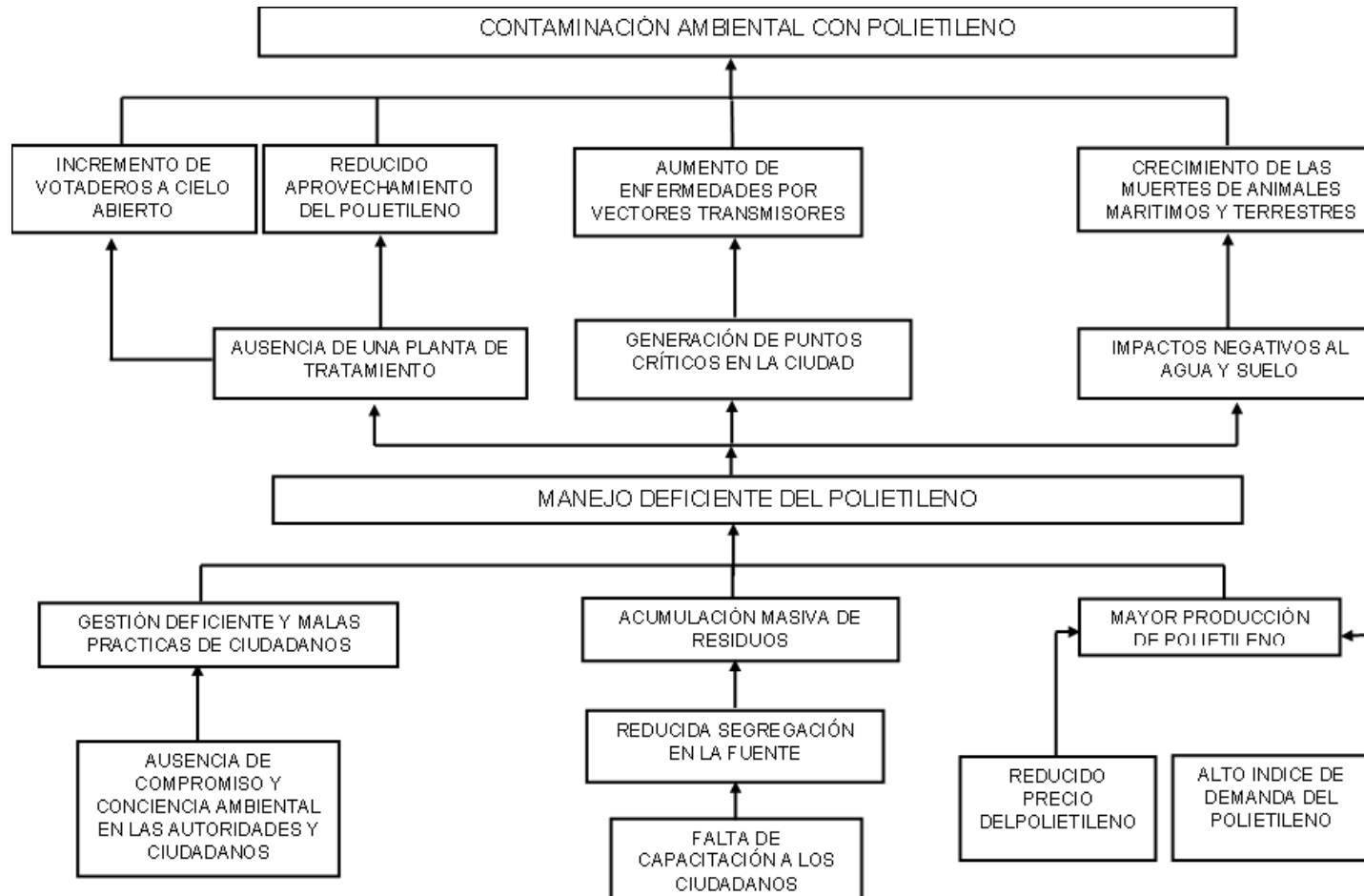
ANEXO 5

DIAGRAMA DE MEDIOS Y FINES



ANEXO 6

DIAGRAMA DE CAUSA Y EFECTO



ANEXO 7

CERTIFICADO DE ANÁLISIS DE DATOS DE LAS MUESTRAS EVALUADAS EN EL LABORATORIO DE QUÍMICA AMBIENTAL DE LA UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO
Facultad de Ingeniería
Programa Académico de Ingeniería Ambiental
LABORATORIO DE QUÍMICA AMBIENTAL



CERTIFICADO DE ANÁLISIS

1. DATOS

SOLICITANTE	Angie Ashly Emely Vélez Gutierrez	MUESTREADO POR:	Angie Ashly Emely Vélez Gutierrez
DEPARTAMENTO	Huánuco	FECHA DE RECEPCIÓN:	16 de OCTUBRE DEL 2025
PROVINCIA	Huánuco	FECHA DE INICIO DE ENSAYO	01 de Septiembre del 2025
DISTRITO	Huánuco	FECHA DE REPORTE	16 de Octubre del 2025
CASERIO	----	RECIBO O FACTURA:	38:02.6
TIPO DE MUESTRA	Muestras sólidas Pesado de larvas, polietileno de baja densidad y excretas	OBSERVACIÓN:	

2. DATOS DE LA MUESTRA

MUESTRAS	INDICADORES																							
	CANTIDAD DE LARVAS (Unl.)						PESO TOTAL DE LARVAS (gr)						PESO DE EXCRETA (gr)						PESO DE POLIETILENO (gr)					
	M.I.	DIA 1	DIA 3	DIA 6	DIA 9	DIA 12	M.I.	DIA 0	DIA 3	DIA 6	DIA 9	DIA 12	M.I.	DIA 0	DIA 3	DIA 6	DIA 9	DIA 12	M.I.	DIA 0	DIA 3	DIA 6	DIA 9	DIA 12
ZMA	75	75	75	75	75	75	45.4165	45.4165	47.4893	49.0075	50.2840	51.0879	0	0	0.1814	0.3079	0.3962	0.4578	4.0000	4.0000	3.9602	3.9209	3.8805	3.8442
ZMB	75	75	75	75	75	75	48.8181	48.8181	50.0881	51.2190	51.8341	52.4861	0	0	0.2128	0.3613	0.4649	0.5372	4.0000	4.0000	3.9512	3.9048	3.8559	3.8115
ZMC	75	75	75	75	75	75	52.6083	52.6083	54.3431	55.6210	56.5651	57.2492	0	0	0.1524	0.2586	0.3328	0.3846	4.0000	4.0000	3.9676	3.9351	3.8986	3.8653
ZMD	75	75	75	75	75	75	52.8356	52.8356	54.7067	55.9056	57.0083	57.6011	0	0	0.2467	0.4187	0.5389	0.6227	4.0000	4.0000	3.9403	3.8845	3.8318	3.7879
GMA	75	75	75	75	75	75	8.9500	8.9500	9.1075	9.2153	9.2998	9.3640	0	0	0.0871	0.1478	0.1902	0.2198	4.0000	4.0000	3.9609	3.9301	3.9004	3.8771
GMB	75	75	75	75	75	75	8.8335	8.8335	9.0283	9.1543	9.2524	9.3274	0	0	0.0665	0.1129	0.1453	0.1679	4.0000	4.0000	3.9735	3.9482	3.9227	3.9019
GMC	75	75	75	75	75	75	7.9835	7.9835	8.1260	8.2203	8.2705	8.3340	0	0	0.1100	0.1868	0.2404	0.2771	4.0000	4.0000	3.9578	3.9255	3.8968	3.8724
GMD	75	75	75	75	75	75	9.1269	9.1269	9.2830	9.4138	9.5258	9.6044	0	0	0.0544	0.0924	0.1189	0.1374	4.0000	4.0000	3.9811	3.9602	3.9386	3.9205

Carretera Central Km. 2.5 – La Esperanza Teléfono N° 51 - 9773 – Anexo 310 Huánuco – Perú

E-mail: secretaria.ambiental@udh.edu.pe



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO
Facultad de Ingeniería
Programa Académico de Ingeniería Ambiental
LABORATORIO DE QUIMICA AMBIENTAL



MUESTRAS	PORCENTAJE DE DEGRADACIÓN (%)												HUMEDAD (%)				TEMPERATURA (°C)			
	M.I.						DIA 0						DIA 3				DIA 6			
	DIA 0						DIA 3						DIA 6				DIA 9			
ZM A	0.0000	0.0000	0.9625	1.9150	2.8925	3.7750	45	45	45.2	44.6	45.5	44.95	22.8	22.8	22.9	23.2	22.7	23.40		
ZM B	0.0000	0.0000	1.1875	2.3175	3.5100	4.5925	45	45	45.2	44.6	45.5	44.95	22.8	22.8	22.9	23.2	22.7	23.40		
ZM C	0.0000	0.0000	0.7775	1.5600	2.4425	3.2475	45	45	45.2	44.6	45.5	44.95	22.8	22.8	22.9	23.2	22.7	23.40		
ZM D	0.0000	0.0000	1.4600	2.8250	4.1125	5.1825	45	45	45.2	44.6	45.5	44.95	22.8	22.8	22.9	23.2	22.7	23.40		
GM A	0.0000	0.0000	0.9450	1.6850	2.3975	2.9525	45	45	45.2	44.6	45.5	44.95	22.8	22.8	22.9	23.2	22.7	23.40		
GM B	0.0000	0.0000	0.6300	1.2325	1.8400	2.3325	45	45	45.2	44.6	45.5	44.95	22.8	22.8	22.9	23.2	22.7	23.40		
GM C	0.0000	0.0000	1.0225	1.8000	2.4875	3.0700	45	45	45.2	44.6	45.5	44.95	22.8	22.8	22.9	23.2	22.7	23.40		
GM D	0.0000	0.0000	0.4400	2.2825	1.4425	1.8675	45	45	45.2	44.6	45.5	44.95	22.8	22.8	22.9	23.2	22.7	23.40		

MUESTRAS	INDICADORES																	
	CANTIDAD DE LARVAS (Unl.)						PESO TOTAL DE LARVAS (gr)						PESO DE EXCRETA (gr)					
	M.I.	DIA 1	DIA 3	DIA 6	DIA 9	DIA 12	M.I.	DIA 0	DIA 3	DIA 6	DIA 9	DIA 12	M.I.	DIA 0	DIA 3	DIA 6	DIA 9	DIA 12
GC	0	0	0	0	0	0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0	0	0	0	0	0

MUESTRAS	PORCENTAJE DE DEGRADACIÓN (%)												HUMEDAD (%)				TEMPERATURA (°C)			
	M.I.						DIA 0						DIA 3				DIA 6			
	DIA 0						DIA 3						DIA 6				DIA 9			
GC	0.0000	0.0000	0.0325	0.0625	0.0925	0.1200	45	45	45.2	44.6	45.5	44.95	22.8	22.8	22.9	23.2	22.7	23.40		

MUESTRAS	INDICADORES																	
	CANTIDAD DE LARVAS (Unl.)						PESO TOTAL DE LARVAS (gr)						PESO DE EXCRETA (gr)					
	DIA 15	DIA 18	DIA 21	DIA 24	DIA 27	M.F.	DIA 15	DIA 18	DIA 21	DIA 24	DIA 27	M.F.	DIA 15	DIA 18	DIA 21	DIA 24	DIA 27	M.F.
ZM A	75	75	75	75	75	75	51.7618	52.2492	52.5836	52.8246	53.0474	53.1844	0.5008	0.5307	0.5518	0.5660	0.5765	0.5834
ZM B	75	75	75	75	75	75	52.8118	53.1961	53.4145	53.6740	53.8869	53.8955	0.5876	0.6226	0.6475	0.6642	0.6764	0.6845
ZM C	75	75	75	75	75	75	57.7448	58.1349	58.3627	58.5854	58.7172	58.7610	0.4207	0.4458	0.4635	0.4755	0.4842	0.4900
ZM D	75	75	75	75	75	75	58.2294	58.5148	58.9612	59.0766	59.3580	59.3573	0.6811	0.7217	0.7505	0.7698	0.7840	0.7934
GM A	75	75	75	75	75	75	9.4186	9.4522	9.4725	9.4834	9.5167	9.5026	0.2404	0.2547	0.2649	0.2718	0.2760	0.2799
GM B	75	75	75	75	75	75	9.3825	9.4171	9.4581	9.4650	9.4907	9.5008	0.1836	0.1946	0.2023	0.2075	0.2114	0.2139
GM C	75	75	75	75	75	75	8.3723	8.4023	8.4060	8.4234	8.4393	8.4341	0.3038	0.3215	0.3348	0.3437	0.3496	0.3540
GM D	75	75	75	75	75	75	9.6704	9.7006	9.7492	9.8001	9.8099	9.8203	0.1502	0.1592	0.1655	0.1698	0.1729	0.175

Carretera Central Km. 2.5 – La Esperanza Teléfono N° 51 -9773 – Anexo 310 Huánuco – Perú

secretaria.ambiental@udh.edu.pe



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO
Facultad de Ingeniería
Programa Académico de Ingeniería Ambiental
LABORATORIO DE QUÍMICA AMBIENTAL



MUESTRAS	PORCENTAJE DE DEGRADACIÓN (%)						HUMEDAD (%)						TEMPERATURA (°C)					
	DIA 15	DIA 18	DIA 21	DIA 24	DIA 27	M.F.	DIA 15	DIA 18	DIA 21	DIA 24	DIA 27	M.F.	DIA 15	DIA 18	DIA 21	DIA 24	DIA 27	M.F.
ZM A	4.5900	5.3250	5.9525	6.5100	7.0075	7.4300	43.80	43.50	43.90	42.80	41.90	41.20	23.6	23.8	23.5	23.90	24.1	24.3
ZM B	5.5525	6.3875	7.1050	7.6100	8.2900	8.7650	43.80	43.50	43.90	42.80	41.90	41.20	23.6	23.8	23.5	23.90	24.1	24.3
ZM C	3.9775	4.6325	5.2175	5.7575	6.2375	6.6650	43.80	43.50	43.90	42.80	41.90	41.20	23.6	23.8	23.5	23.90	24.1	24.3
ZM D	6.0725	6.7375	7.2550	7.6800	8.0450	8.3600	43.80	43.50	43.90	42.80	41.90	41.20	23.6	23.8	23.5	23.90	24.1	24.3
GM A	3.3975	3.7525	4.0325	4.2575	4.4375	4.5875	43.80	43.50	43.90	42.80	41.90	41.20	23.6	23.8	23.5	23.90	24.1	24.3
GM B	2.7025	2.9850	3.2075	3.3850	3.5275	3.6425	43.80	43.50	43.90	42.80	41.90	41.20	23.6	23.8	23.5	23.90	24.1	24.3
GM C	3.5550	3.9575	4.2925	4.5825	4.8325	5.0525	43.80	43.50	43.90	42.80	41.90	41.20	23.6	23.8	23.5	23.90	24.1	24.3
GM D	2.2075	2.4800	2.6850	2.8475	2.9750	3.0775	43.80	43.50	43.90	42.80	41.90	41.20	23.6	23.8	23.5	23.90	24.1	24.3

MUESTRAS	INDICADORES																	
	CANTIDAD DE LARVAS (Unl.)						PESO TOTAL DE LARVAS (gr)						PESO DE EXCRETA (gr)					
	DIA 15	DIA 18	DIA 21	DIA 24	DIA 27	M.F.	DIA 15	DIA 18	DIA 21	DIA 24	DIA 27	M.F.	DIA 15	DIA 18	DIA 21	DIA 24	DIA 27	M.F.
GC	0	0	0	0	0	0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0	0	0	0	0	0

MUESTRAS	PORCENTAJE DE DEGRADACIÓN (%)						HUMEDAD (%)						TEMPERATURA (°C)					
	DIA 15	DIA 18	DIA 21	DIA 24	DIA 27	M.F.	DIA 15	DIA 18	DIA 21	DIA 24	DIA 27	M.F.	DIA 15	DIA 18	DIA 21	DIA 24	DIA 27	M.F.
GC	0.1475	0.1725	0.1975	0.2200	0.2425	0.2625	43.80	43.50	43.90	42.80	41.90	41.20	23.6	23.8	23.5	23.90	24.1	24.3

UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 E.A.P. INGENIERÍA AMBIENTAL
 Gisela Yoselin Lazaro Ramos
 (R) LABORATORIO DE QUÍMICA AMBIENTAL

Carretera Central Km. 2.5 – La Esperanza Teléfono N° 51 -9773 – Anexo 310 Huánuco – Perú

secretaria.ambiental@udh.edu.pe

ANEXO 8

PANEL FOTOGRÁFICO

Fotografía 1

*Preparación de polietileno de baja densidad para la degradación experimental con *Galleria mellonella* y *Zophobas morio**



Fotografía 2

*Pesaje polietileno de baja densidad para la degradación experimental con *Galleria mellonella* y *Zophobas morio**



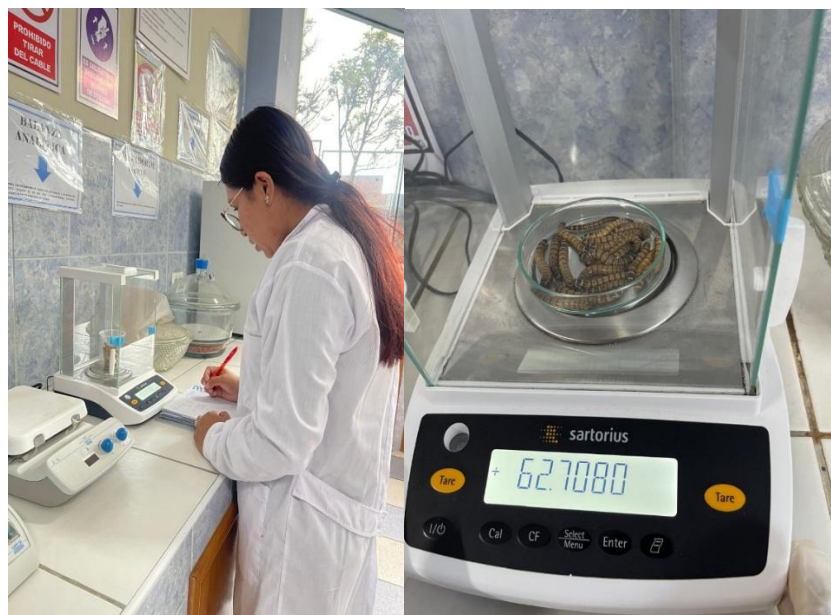
Fotografía 3

*Pesaje polietileno de baja densidad para la degradación experimental con *Galleria mellonella* y *Zophobas morio**



Fotografía 4

*Pesaje de *Galleria mellonella* y *Zophobas morio* para cada unidad de estudio*



Fotografía 5

*Registro y monitoreo de los tratamientos experimentales con *Galleria mellonella* y *Zophobas morio**



Fotografía 6

*Disposición experimental del plástico fragmentado para la alimentación de *Galleria mellonella* y *Zophobas morio**



Fotografía 7

Medición de Galleria mellonella y Zophobas morio



Fotografía 8

Proceso de cernir para separar excretas y pesaje de las mismas



Fotografía 9

Montaje general del experimento con tratamientos y controles



Fotografía 10

Visita técnica de verificación y seguimiento del proyecto de tesis por parte de la Mg. Inga Caqui Jhendy Milagros



Fotografía 11

Visita técnica de verificación y seguimiento del proyecto de tesis por parte de la Mg. Frank Erick Camara Llanos



Fotografía 12

Visita técnica de verificación y seguimiento del proyecto de tesis por parte de la Mg. Joel Gamez Penadillo



Fotografía 13

Micrografía electrónica de barrido (SEM) de las excretas de Zophobas morio tras la degradación de polietileno de baja densidad (PEBD)

