

UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO

FACULTAD DE INGENIERIA

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA AMBIENTAL



TESIS

**“Comparación de la eficiencia biodegradativa de las larvas
Zophobas morio y *Tenebrio molitor* en los residuos de
poliuretano en el distrito de Pillco Marca – Huánuco – 2025”**

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

AUTOR: Falcon Bravo, Henry Alcides

ASESOR: Morales Aquino, Milton Edwin

HUÁNUCO – PERÚ

2026

U

D

H

**TIPO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN:**

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

LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN: Biotecnología y nanotecnología

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 Ingeniero ambiental

Código del Programa: P09

Tipo de Financiamiento:

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

DATOS DEL AUTOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 72248109

DATOS DEL ASESOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 44342697

Grado/Título: Doctor en medio ambiente y desarrollo sostenible

Código ORCID: 0000-0002-2250-3288

DATOS DE LOS JURADOS:

N°	APELLIDOS Y NOMBRES	GRADO	DNI	Código ORCID
1	Arteaga Vega, Adderlin	Doctor en gestión empresarial	46018561	0000-0003-2701-0594
2	Tarazona Mirabal, Herman Atilio	Magister en salud pública y gestión sanitaria gestión y planeamiento educativo	22411008	0000-0001-5319-4708
3	Condezo Beteta, Verenisa Nohely	Maestro en educación investigación y docencia superior	45728462	0009-0001-8221-7427



UNIVERSIDAD DE HUANUCO

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 03 del mes de setiembre 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. Adderlin Arteaga Vega (Presidente)
- Mg. Herman Atilio Tarazona Mirabal (Secretario)
- Mg. Verenisa Nohely Condezo Beteta (Vocal)

Nombrados mediante la **Resolución N° 1482-2026-D-FI-UDH** para evaluar la Tesis intitulada: "**Comparación de la eficiencia biodegradativa de las larvas *Zophobas morio* y *Tenebrio molitor* en los residuos de poliuretano en el Distrito de Pillco Marca - Huánuco - 2025**", presentado por el (la) Bach. **FALCON BRAVO, HENRY ALCIDES** 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 14 y cualitativo de conforme (Art. 47)

Siendo las 6:09 horas del día 03 del mes de setiembre del año 2026, los miembros del Jurado Calificador firman la presente Acta en señal de conformidad.

Dr. Adderlin Arteaga Vega
DNI: 46018561
ORCID: 0000-0003-2701-0594
Presidente

Mg. Herman Atilio Tarazona Mirabal
DNI: 22411008
ORCID: 0000-0001-5319-4708
Secretario

Mg. Verenisa Nohely Condezo Beteta
DNI: 45728462
ORCID: 0009-0001-8221-7427
Vocal



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

El comité de integridad científica, realizó la revisión del trabajo de investigación del estudiante: **HENRY ALCIDES FALCON BRAVO**, de la investigación titulada "**Comparación de la eficiencia biodegradativa de las larvas *Zophobas morio* y *Tenebrio molitor* en los residuos de poliuretano en el Distrito de Pillco Marca - Huánuco - 2025**", con asesor(a): **MILTON EDWIN MORALES AQUINO**, designado(a) mediante documento: **RESOLUCIÓN N° 0467-2025-D-FI-UDH** del P. A. de INGENIERÍA AMBIENTAL.

Puede constar que la misma tiene un índice de similitud del **17 %** 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, 20 de julio 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 20 de noviembre de 2026.

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

INFORME DE ORIGINALIDAD

17%

INDICE DE SIMILITUD

17%

FUENTES DE INTERNET

2%

PUBLICACIONES

7%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

repositorio.ual.es

Fuente de Internet

3%

2

repositorio.udh.edu.pe

Fuente de Internet

3%

3

hdl.handle.net

Fuente de Internet

2%

4

www.unicauca.edu.co

Fuente de Internet

1%

5

es.slideshare.net

Fuente de Internet

1%

6

www.coursehero.com

Fuente de Internet

1%

7

www.aimplas.es

Fuente de Internet

<1%

8

avanceyperspectiva.cinvestav.mx

Fuente de Internet

<1%

9

www.iiap.org.pe

Fuente de Internet

<1%

10

repositorio.ucv.edu.pe

Fuente de Internet

<1%



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

DEDICATORIA

Agradecer a nuestro creador Dios por la nueva oportunidad que recibí, sin importar que uno se pueda rendir, siempre nos guiara e iluminara el camino.

A mis padres, Violeta Irene y Percy Alcides por ser el motor de mi vida y el apoyo incondicional en cada etapa de mi formación profesional. Su sacrificio, paciencia y confianza en mis capacidades han sido los pilares fundamentales que me han permitido culminar esta meta.

A mis hermanos y familiares, por sus palabras de aliento en los momentos de mayor esfuerzo y por acompañarme siempre en la búsqueda de mis sueños.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad de Huánuco y al Programa Académico de Ingeniería Ambiental, por haberme brindado los conocimientos necesarios y las herramientas académicas para formarme como un profesional íntegro y comprometido con el entorno.

Al Mg. Morales Aquino, Milton Edwin, mi asesor de tesis, por su valiosa guía, su tiempo y sus acertadas correcciones, las cuales fueron fundamentales para el rigor científico y el éxito de esta investigación.

A los docentes de la facultad, quienes con su sabiduría y experiencia despertaron en mí la curiosidad por la investigación biotecnológica y el compromiso con la gestión sostenible de los residuos.

A mis amigos y compañeros de estudio, con quienes compartí largas jornadas de aprendizaje y quienes hicieron este camino más ameno a través del apoyo mutuo.

Finalmente, agradezco a la vida por permitirme concluir este proyecto de investigación en el distrito de Pillco Marca, con la esperanza de que este trabajo sea un aporte real para la solución de la problemática ambiental de nuestra región.

ÍNDICE

DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTOS	III
ÍNDICE.....	IV
ÍNDICE DE TABLAS	VI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VIII
RESUMEN	IX
ABSTRACT	X
INTRODUCCIÓN	XI
CAPÍTULO I	13
PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN.....	13
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	13
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	15
1.2.1. PROBLEMA GENERAL	15
1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS	15
1.3. OBJETIVO GENERAL	15
1.4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
1.5. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	16
1.6. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN	16
1.7. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN.....	17
CAPÍTULO II	18
MARCO TEÓRICO	18
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	18
2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES	18
2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES	20
2.1.3. ANTECEDENTES LOCALES.....	22
2.2. BASES TEÓRICAS	24
2.2.1. DEGRADACIÓN DE PLÁSTICOS.....	24
2.2.2. TIPO DE POLIMEROS.....	25
2.2.3. DEGRADACIÓN DE POLIMEROS	35
2.2.4. MÉTODOS DE EVALUACIÓN DE LA BIODEGRADABILIDAD	40
2.2.5. BACTERIAS BIODEGRADORAS DE PLÁSTICOS	42
2.2.6. LARVAS BIODEGRADORAS DE PLÁSTICOS.....	43

2.3. DEFINICIÓN DE BASES CONCEPTUALES	51
2.4. HIPÓTESIS.....	53
2.5. VARIABLES.....	53
2.5.1. VARIABLE DE CALIBRACIÓN	53
2.5.2. VARIABLE EVALUATIVA.....	53
2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	54
CAPÍTULO III.....	55
METODOLOGÍA 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	57
3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	58
3.4. TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN.....	62
CAPITULO IV.....	64
RESULTADOS.....	64
4.1. PROCESAMIENTO DE DATOS	64
4.2. CONTRASTACIÓN Y PRUEBA DE HIPÓTESIS.....	77
CAPITULO V.....	78
DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	78
CONCLUSIONES	82
RECOMENDACIONES.....	84
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	86
ANEXOS.....	92

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Polímeros convencionales comunes.....	26
Tabla 2 Clasificación de los plásticos convencionales según sus propiedades térmicas y principales aplicaciones.....	32
Tabla 3 Clasificación Taxonómica de Tenebrio molitor.....	44
Tabla 4 Clasificación Taxonómica de Zophobas morio.....	49
Tabla 5 Coordenadas de ubicación del lugar o área de estudio	57
Tabla 6 Los 03 tratamientos con la larva Tenebrio molitor y Zophobas morio	58
Tabla 7 Técnicas de instrumentos para la recolección de datos.....	58
Tabla 8 Datos relacionados al nivel de consumo de residuos de poliuretano y dieta control por la larva Zophobas morio bajo condiciones controladas (g)	64
Tabla 9 Nivel de consumo de residuos de poliuretano por las larvas Zophobas morio en condiciones controladas.....	65
Tabla 10 Datos relacionados al nivel de consumo de residuos de poliuretano y dieta control por la larva Tenebrio molitor bajo condiciones controladas (g)	67
Tabla 11 Nivel de consumo de residuos de poliuretano por las larvas Tenebrio molitor en condiciones controladas.....	67
Tabla 12 Comparación de la eficiencia biodegradativa en residuos de poliuretano entre Zophobas morio y Tenebrio molitor.....	68
Tabla 13 Datos brutos de la variación de peso y producción de excretas de la larva Zophobas morio por unidad experimental.	70
Tabla 14 Datos brutos de la variación de peso y producción de excretas de la larva Tenebrio molitor por unidad experimental	71
Tabla 15 Variación en el peso y producción de excretas de las larvas Zophobas morio y Tenebrio molitor durante el proceso de biodegradación del poliuretano	71
Tabla 16 Datos brutos de la variación de longitud promedio de la larva Zophobas morio por unidad experimental (cm).....	74
Tabla 17 Datos brutos de la variación de longitud promedio de la larva Tenebrio molitor por unidad experimental (cm).....	74

Tabla 18 Variación en la longitud de las larvas <i>Zophobas morio</i> y <i>Tenebrio molitor</i> durante el proceso de biodegradación del poliuretano.....	75
Tabla 19 Prueba de normalidad de los datos	76
Tabla 20 Prueba de contrastación de hipótesis con U de Mann-Whitney....	77

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Estructura de los poliéster y polímeros	25
Figura 2 Orden de los polímeros a base de los monómeros	26
Figura 3 Polímeros creados por procesos industriales	27
Figura 4 Principales Polímeros	28
Figura 5 Proceso de degradación del polímero en su reacción química.....	35
Figura 6 Diagrama de fases del poliestireno en ciclohexano	36
Figura 7 Ataque microbiano aeróbico y anaeróbico de polímeros plásticos	40
Figura 8 Clasificación de los principales factores a la biodegradación	42
Figura 9 Bacteria Ideonella sakaiensis	43
Figura 10 Ciclo de vida del Tenebrio molitor.....	45
Figura 11 Fases de la Tenebrio molitor	46
Figura 12 Fases del Zophobas morio	49
Figura 13 Nivel de consumo promedio por las larvas Zophobas morio.....	66
Figura 14 Nivel de consumo promedio por las larvas Tenebrio molitor.....	68
Figura 15 Comparación de degradación de poliuretanos entre especies	69
Figura 16 Variación de peso y producción de excretas según especie.....	73
Figura 17 Variación de la longitud de las larvas según especie.....	75

RESUMEN

La presente investigación titulada "Comparación de la eficiencia biodegradativa de las larvas *Zophobas morio* y *Tenebrio molitor* en residuos de poliuretano en Pillco Marca, Huánuco, 2025" tuvo como objetivo evaluar y comparar dicha eficiencia entre ambas especies. La metodología presentó un enfoque cuantitativo, nivel aplicativo y diseño experimental de un factor con dos dimensiones, completamente aleatorizado. Se emplearon grupos experimentales con esponjas de lavavajillas, almohadas Memory Foam y un grupo control alimentado con salvado de trigo. El experimento duró cincuenta días, midiendo el consumo de sustratos, la variación biométrica de peso y longitud, junto con la producción de excretas. Los resultados mostraron que *Tenebrio molitor* tuvo un consumo promedio de poliuretano levemente superior (0.121 gramos en esponja y 0.110 gramos en Foam) frente a *Zophobas morio* (0.112 gramos y 0.070 gramos respectivamente). No obstante, la prueba U de Mann-Whitney demostró que no existió una diferencia estadísticamente significativa en los volúmenes de ingesta entre las especies evaluadas (p igual a 0.151). El análisis fisiológico evidenció diferencias críticas: ingerir polímeros provocó en *Tenebrio molitor* retención digestiva y pérdida de peso (-0.0251 gramos). Por el contrario, *Zophobas morio* mantuvo un flujo digestivo constante, produjo más excretas y logró un balance de peso positivo (+0.0190 gramos). En conclusión, aunque ambas consumen plásticos en proporciones estadísticamente similares, *Zophobas morio* es un agente biológico de biodegradación más eficiente y viable a largo plazo, dada su superior resiliencia metabólica para procesar polímeros sintéticos y evitar cuadros de inanición durante todo el proceso de la investigación.

Palabras clave: Biodegradación, poliuretano, *Zophobas morio*, *Tenebrio molitor*, biodegradación, residuos sólidos.

ABSTRACT

The present research titled "Comparison of the biodegradative efficiency of *Zophobas morio* and *Tenebrio molitor* larvae on polyurethane waste in Pillco Marca, Huánuco, 2025" aimed to evaluate and compare said efficiency between both species. The methodology presented a quantitative approach, an applied level, and a completely randomized single-factor experimental design with two dimensions. Experimental groups using dishwashing sponges, Memory Foam pillows, and a control group fed with wheat bran were established. The experiment lasted fifty days, measuring substrate consumption, biometric variation in weight and length, along with excreta production. The results showed that *Tenebrio molitor* had a slightly higher average polyurethane consumption (0.121 grams in sponge and 0.110 grams in Foam) compared to *Zophobas morio* (0.112 grams and 0.070 grams, respectively). However, the Mann-Whitney U test demonstrated that there was no statistically significant difference in intake volumes between the evaluated species (p equal to 0.151). The physiological analysis evidenced critical differences: ingesting polymers caused digestive retention and weight loss (-0.0251 grams) in *Tenebrio molitor*. In contrast, *Zophobas morio* maintained a constant digestive flow, produced more excreta, and achieved a positive weight balance (+0.0190 grams). In conclusion, although both consume plastics in statistically similar proportions, *Zophobas morio* is a more efficient and viable biological biodegradation agent in the long term, given its superior metabolic resilience to process synthetic polymers and avoid starvation throughout the research process.

Keywords: Biodegradation, polyurethane, *Zophobas morio*, *Tenebrio molitor*, biodegradation, biomass, solid waste.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la acumulación desmedida de residuos sólidos urbanos e industriales representa uno de los desafíos ambientales más críticos a nivel global. Dentro de esta problemática, los polímeros sintéticos, específicamente el poliuretano (PU), ocupan un lugar de especial preocupación. El poliuretano es un material ampliamente utilizado en la fabricación de espumas flexibles, como esponjas de lavavajillas, y espumas viscoelásticas, conocidas como almohadas Memory Foam. Debido a su compleja estructura química y enlaces cruzados, este polímero es altamente recalcitrante, presentando tasas de degradación natural que pueden superar los cientos de años, lo que genera una severa saturación en los rellenos sanitarios y ecosistemas.

Frente a la ineficiencia y el alto costo ambiental de los métodos tradicionales de disposición final, como la incineración y el enterramiento, la comunidad científica ha volcado su atención hacia el desarrollo de alternativas sostenibles. En este contexto, la biodegradación mediante el uso de agentes biológicos ha emergido como una tecnología prometedora. Diversos estudios han documentado la capacidad de ciertos insectos en etapa larvaria para masticar, ingerir y degradar polímeros sintéticos gracias al microbiota especializado presente en su tracto digestivo.

Entre las especies más destacadas para este fin se encuentran ***Zophobas morio*** (conocido como el súper gusano) y ***Tenebrio molitor*** (el gusano de la harina). Si bien se ha comprobado de manera aislada que ambas especies poseen el potencial de ingerir derivados plásticos, existe una brecha en el conocimiento respecto a cuál de estos agentes resulta verdaderamente más eficiente y fisiológicamente viable cuando se les somete a dietas exclusivas de poliuretano, un material considerablemente más complejo que otros plásticos de un solo uso. La eficiencia biodegradativa no solo debe medirse por la cantidad de sustrato consumido, sino también por el impacto que dicha dieta genera en la excreta, el desarrollo y la supervivencia del insecto, factores determinantes para escalar esta tecnología a nivel industrial.

Por lo expuesto, la presente investigación se desarrolla en el distrito de Pillco Marca, provincia de Huánuco, con el propósito de evaluar y comparar rigurosamente la eficiencia biodegradativa de las larvas ***Zophobas morio*** y ***Tenebrio molitor*** aplicadas a residuos de poliuretano (flexible y viscoelástico). A través de un diseño experimental bajo condiciones controladas durante un periodo de 50 días, el estudio se enfoca en analizar el nivel de consumo de los sustratos, así como la variación biométrica (peso y longitud) y la producción de excretas. Los resultados de esta investigación no solo buscan resolver la hipótesis de superioridad entre ambas especies, sino también aportar datos científicos sólidos que contribuyan al diseño de estrategias de gestión integral de residuos sólidos más limpias, circulares y ecológicamente responsables para la región de Huánuco y el país.

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

En la actualidad, se registra un incremento exponencial en la generación de residuos de polímeros, impulsado por la mayor producción de poliuretanos. Estos materiales poseen una variedad de composiciones químicas que dificultan su eliminación y causan daños a la salud.

De acuerdo a la Organización de las Naciones Unidas menciona que los plásticos vienen de un material duradero y flexible que está en la vida cotidiana, los embalajes de la ropa y accesorios, estos residuos se desechan a una escala grande, aumenta de 280 millones de plásticos en toneladas, pocos de estos residuos terminan en la basura, en total el 46% de los residuos plásticos se depositan en rellenos o basurales, del cual el 22% se gestiona de forma inapropiada convirtiéndose en basura, el 17% se incinera y el 15% se recoge para uso de reciclaje, mencionando que el plástico en comparación de otros materiales no llega a biodegradar, tardan siglos en descomponerse provocando contaminación en la vida marina, deterioro del suelo, envenenando las fuentes subterráneas y graves consecuencia para la salud humana. La producción de plásticos es el proceso más intensivo de energía en el mundo, por el material que se produce a partir de combustibles fósiles y por el material de petróleo crudo, transformándose en variedad de aditivos de un polímero. En 2019, los plásticos generaron 1.800 millones de toneladas de emisiones de gases de efecto invernadero, lo que equivale al 3,4% de la población mundial, por la cual se prevé que los plásticos reciclados a nivel mundial van a representar el 12% del uso total de plásticos para el año 2060, aumentado desde el 6% del año 2019. (Organización de las Naciones Unidas [ONU], 2023).

Center for International Environmental Law. (2019) menciona sobre el ciclo de la vida de la fabricación a nivel mundial de plástico, dichos resultados en mucho tiempo será una catástrofe, estimando que para el año 2050, la contaminación de plásticos se aproximará a la producción anual con una

media de 600 centrales de energía a base de carbón, siendo este el motivo de degradación de los plásticos y sus resultados sobre el ambiente. Incluso las partículas de plásticos llamados micro plásticos se exponen a la luz solar emiten gases de efecto invernadero y nunca se detienen siendo el problema principal de degradación del plástico.

Según Sabtech (2026) menciona que la industria de Poliuretano constituye un componente importante del mercado, con una producción de 20 millones de toneladas métricas anuales de producción en diversas aplicaciones, los procesos de fabricación del poliuretano es responsable de las emisiones de gases de efecto invernadero contribuyendo significativamente al cambio climático, la producción del Poliuretano (PU) puede generar hasta 1600 millones de toneladas métricas de CO₂ cada año, más allá de la generación se ve influenciado en la producción de este material donde se aplica sustancias tóxicas como los isocianatos y polioles que liberan compuestos orgánicos volátiles (COV), que representa riesgos de salud de las personas en la producción afectando con problemas respiratorios e irritaciones cutáneas y cambios en la calidad del aire.

El Peruano (2021) expone que se generan un promedio de veintiún mil toneladas de desechos municipales por día, esto lleva a que se produzca por los 30 millones de habitantes del Perú, equivaliendo un 0.8 kilogramos de residuo generado por persona al día.

SIGERSOL (2024) en la Ciudad Pillco marca se visualiza el gran consumo y compra que los productos plásticos como los polímeros esto en base al SIGERSOL de la composición de Rs Ss Domiciliarios del año 2024 se reporta que los residuos Inorgánicos es un 24.64% una acumulación de 5.179,98 t/año, siendo el segundo tipo de composición de residuo con mayor porcentaje de contaminación en el distrito de Pillco marca, siendo esto muy perjudicial tanto para el medio ambiente y la salud de las personas por la acumulación de este poliuretano y sin un buen manejo adecuado puede llegar a ser un peligro.

Mi proyecto pretende comparar dos tipos de larvas que degradan polímeros que causan daños al entorno ambiental y a la salud, por lo cual se

hará un experimento usando el tiempo para biodegradar 02 tipos de poliuretanos para identificar que larva es más eficiente.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. PROBLEMA GENERAL

¿Cuál es la diferencia en la eficiencia biodegradativa entre las larvas ***Zophobas morio*** y ***Tenebrio molitor*** en los residuos de poliuretano en el distrito de Pillco Marca – Huánuco – 2025?

1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS

¿Qué nivel de consumo de residuos de poliuretano presentan las larvas ***Zophobas morio*** en condiciones controladas durante el experimento?

¿Qué nivel de consumo de residuos de poliuretano presentan las larvas ***Tenebrio molitor*** en condiciones similares?

¿Qué variación tiene en el peso y la longitud de las larvas ***Zophobas morio*** y ***Tenebrio molitor*** durante el proceso de biodegradación de residuos de poliuretano?

1.3. OBJETIVO GENERAL

Comparar la eficiencia biodegradativa de las larvas ***Zophobas morio*** y ***Tenebrio molitor*** en los residuos de poliuretano en el distrito de Pillco Marca – Huánuco – 2025.

1.4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Evaluar el nivel de consumo de residuos de poliuretano por las larvas ***Zophobas morio*** en condiciones controladas.

Evaluar el nivel de consumo de residuos de poliuretano por las larvas ***Tenebrio molitor*** en condiciones similares.

Analizar la variación en el peso y longitud de las larvas ***Zophobas morio*** y ***Tenebrio molitor*** durante el proceso de biodegradación del poliuretano.

1.5. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La creciente acumulación de residuos plásticos, como el poliuretano, representa una amenaza significativa para el medio ambiente, debido a su alta resistencia a la degradación y al impacto que genera sobre el suelo, el agua y el aire. Esta problemática ambiental exige la búsqueda de soluciones innovadoras y sostenibles que permitan reducir el daño ecológico ocasionado por estos materiales. En este contexto, la presente investigación utilizó larvas de *Zophobas morio* y *Tenebrio molitor* como agentes biodegradadores, aprovechando su capacidad natural para descomponer compuestos plásticos y contribuir a la disminución de la contaminación.

Desde el enfoque social, el estudio cobró relevancia al promover el desarrollo de alternativas accesibles y ecológicas que pudieron ser adoptadas por comunidades afectadas por la inadecuada gestión de residuos sólidos. La implementación de este tipo de biotecnología fomentó la educación ambiental, la participación ciudadana y la toma de conciencia respecto al impacto del consumo desmedido de plásticos en la salud y el entorno.

Económicamente, esta propuesta representó una alternativa de bajo costo frente a los métodos tradicionales de eliminación de residuos, como el enterramiento o la incineración, los cuales requirieron una alta inversión y generan efectos colaterales. Asimismo, la utilización de estas larvas en procesos de biodegradación evidenció el potencial para generar nuevas oportunidades de emprendimiento sostenible, reducir los gastos asociados al tratamiento de residuos y sentar las bases para el desarrollo de iniciativas basadas en la biotecnología aplicada a la gestión ambiental.

1.6. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

El costo para la adquisición de las larvas estuvo asociado a su obtención desde la ciudad de Lima o desde centros de criaderos especializados, considerando su posterior envío a la ciudad de Huánuco, lugar donde se desarrolló la investigación. Asimismo, las mediciones realizadas a las larvas dependen de la disponibilidad de los equipos proporcionados por la universidad para la evaluación del proyecto.

En los casos en que no se contó con la autorización o disponibilidad de dichos equipos, se presentó como principal dificultad el transporte de las muestras hacia otros laboratorios o centros universitarios ubicados fuera de la ciudad, lo cual implicó una mayor inversión de tiempo y recursos logísticos.

1.7. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN

Se contó con la disponibilidad para la adquisición de las larvas, así como con los materiales necesarios para la construcción de los recipientes destinados a su alojamiento durante el periodo experimental. Asimismo, se tuvo acceso al poliuretano requerido para la ejecución del ensayo.

De igual manera, se dispuso de literatura técnica e instrumental validado para los procedimientos de pesaje y el uso de los equipos de medición, lo cual facilitó la correcta recolección y el registro de los datos.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES

Cunguan *et al.* (2023) en su investigación con título “Biodegradación del plástico con larvas del insecto ***Tenebrio molitor*** como contribución interdisciplinaria a la biotecnología ambiental”, Universidad estatal de Milagro de Ecuador, tuvo como objetivo analizar la biodegradación de plásticos usando la larva ***Tenebrio molitor*** como aporte a la biotecnología ambiental, como metodología se basó en 03 etapas como la caracterización de la larva, la crianza y la capacidad de biodegradación usando 200 larvas y dos tipos de poliestireno expandido y de baja densidad, como resultado encontró que la muestra M1 tuvo una productividad de 6.6, la M2 con 2.3, la muestra M3 presentó una productividad de 0.1 y en la muestra M4 observaron 11 de productividad, en conclusión llegó que la larva pueden ser una alternativa para la degradación de PE, influyendo en la producción del compost que beneficio al consumir el plástico la larva.

Jiang *et al.* (2021) en el artículo determinaron como objetivo determinar la biodegradación de las 3 especies de larvas y evaluar la supervivencia a la dieta estricta durante los 30 días, como metodología dividieron en dos grupos (200 larvas por grupo). Cada grupo criaron en envase de plástico, se alimentaron de piezas de espuma de poliestireno (3.0 g) por cada grupo, durante los 3 días se añadió los bloques de espuma y salvados de trigo, tanto el grupo de prueba y su grupo control lo prepararon por triplicado, su medición de supervivencia lo realizaron cada 5 días y finalizaron a los 30 días, su ensayo de biodegradación lo hicieron por la pérdida de peso y cambio en la transformación de espuma. El Frass (excremento de insecto o larvas) almacenan inmediatamente en -80°C para la prueba, usaron el método de cromatografía de gases para su mayor investigación de los intermedios

y productos que se generaron a partir de la degradación, como resultado cuando colocaron la espuma de poliestireno las 3 especies comenzaron a alimentarse de ella e hicieron pérdida de grabado que duró la prueba de 30 días, el consumo del super gusano fue de 7.95 g, mientras que de la polilla y los gusanos de harina fue de 3.08 g y 0.19 g, habiendo una tasa de promedio de consumo de PS eran de 2.78 ± 0.060 mg de larva por día, durante los 30 días la tasa de sobrevivencia de las larvas en el grupo de PS y el conjunto de alimentación mostraron una tendencia baja así como los 3 grupos de larvas mostraron una diferencia grande, en dichos estudios la diferencia del mayor consumo de poliestireno fue por el tamaño de cada especie siendo los super gusanos con lo que su tasa de consumo de poliestireno se registraron como altas y su peso, en conclusión llegaron que la alimentación y degradación de plásticos por larvas es la forma de resolver contaminación blanca en estos casos del poliestireno (PS), y los cambios de la diversidad microbiana intestinal se dio en las tripas de los insectos, siendo importantes las bacterias que ayudan degradar el PS desde el intestino.

Ling (2023) en su tesis “Comparación de la capacidad de biodegradación de plásticos por larvas de insectos de la familia *Pyralidae* y *Tenebrionidae*” Escuela Superior Politécnica del Litoral en Ecuador, tuvo como objetivo evaluar la capacidad de degradación y eficiencia de dos especies de larvas de insectos (*Galleria mellonella* y *Zophobas morio*) sobre tres tipos de plásticos de un solo uso (PET, EPS y LDPE/LDPS) mediante el proceso de entomoremediación, como metodología realizaron un bioensayo experimental con un tiempo de duración de 28 días con los 03 tratamientos, como resultado se dio que ambas especies mostraron una preferencia por el consumo de EPS (Poliestireno expandido), con las larvas *Zophobas morio* lograron degradar un 7% de EPS en periodo de 28 días y la larva *Galleria mellonella* un 10.4% de EPS en solo 10 días, en conclusión la larva *Galleria mellonella* demuestra una mayor eficiencia y rapidez para el proceso de biodegradación.

2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES

Valladolid (2023) en su tesis “Biodegradación del poliestireno expandido mediante el uso de la especie ***Tenebrio molitor*** (gusano de harina)” Universidad Continental, señalan que su estudio tuvo como objetivo determinar las características como el peso, espesor y dimensión del poliestireno expandido así como el ritmo de crecimiento y el dimensión del gusano de harina en el proceso de la biodegradación , como metodología fue un diseño experimental donde la muestra utilizada fue el poliestireno expandido con un grosor de 2 mm y 18 mm, un peso de 1,999 g y 3,859 g, y en 4 tipos de recipiente con 100 gusanos y los 4 recipientes restantes con 150 gusanos, la duración de tiempo que realizaron fue de 29 días para la biodegradación, como resultado determinaron en el espesor del poliestireno usaron de 2 mm los vasos y del residuo de embalaje un grosor de 18 mm, su peso lo realizaron con una balanza analítica donde se hizo 8 repeticiones donde el vaso de 2 mm tuvo un peso al comienzo entre de 1.999 y 1.900 g y el residuo de embalaje de 18 mm fue entre 3,859 g y 3,397 g, en la tasa de crecimiento de los gusanos ***Tenebrio molitor*** no sufrió ningún cambio a la estricta dieta, el promedio de tamaño fue de 2,50 cm de longitud, y tuvo un resultado promedio de 0,123 g en el EPS de espesor de 18 mm y para el EPS con un grosor de 2 mm tuvo un promedio de 0,048 g con 100 gusanos donde se vio el mayor consumo del poliestireno con menor cantidad de gusanos, en conclusión se determinó que el resultado de la biodegradación del poliestireno con el espesor de 18 mm fue de 0,123 g donde usaron 100 gusanos de ***Tenebrio molitor***, siendo este el más eficiente con menor cantidad de gusanos.

Basualdo y Gomez (2022) en su tesis “Aplicación de ***Tenebrio molitor*** para biodegradar mascarillas quirúrgicas de polipropileno, guantes de vinilo y botellas PET”, Universidad César Vallejo, señalan que su estudio tuvo como objetivo determinar el uso de las larvas ***Tenebrio molitor*** con el método de biodegradación de plásticos de acuerdo a las condiciones estrictas y la tasa de supervivencia de las

larvas dicha destrucción del polímero, como metodología consistió en un diseño experimental con un total de 1280 larvas de *Tenebrio molitor*, distribuidas en 32 vasos precipitados de 600 ml con 40 larvas y 2 g de polímero cada uno. Evaluaron cuatro tratamientos (salvado de trigo como control, mascarillas quirúrgicas de polipropileno, botellas PET y guantes de vinilo) con dos réplicas para cada tiempo de exposición establecido 5, 10, 15 y 20 días, al finalizar el ensayo, se seleccionó una muestra destructiva de 120 larvas 30 por dieta para extraer sus intestinos, los cuales fueron almacenados en tubos de centrifugación a -80 °C para el análisis microbiológico, como resultado determinó que la degradación del control con salvado de trigo fue del 22.12%, mientras que el polímero más degradado fue el guante de vinilo con un 14.27%, seguido de la botella PET con 0.41% y la mascarilla de polipropileno con apenas 0.20%. A nivel temporal, la biodegradación promedio general aumentó progresivamente, registrando 4.12% a los 5 días, 8.88% a los 10 días y 10.33% a los 15 días. Respecto a la viabilidad biológica, al día 20 se registró una alta tasa de supervivencia, alcanzando el 92.5% en la dieta con PET y el 97.5% en el tratamiento con mascarillas, de acuerdo al análisis de la microbiota intestinal mediante tinción Gram identificó la presencia constante de bacterias Gram-negativas evidenciadas por coloración rojiza, en todas las dietas, en conclusión comprobaron los guantes de vinilo son biodegradables en comparación con otros plásticos, y en la parte de supervivencia a las estrictas dietas vieron que la larva *Tenebrio molitor* siendo opción para disminuir contaminaciones por plásticos.

Arce (2023) en su tesis “Biodegradación de Tereftalato de polietileno (PET) mediante el uso de larvas de *Zophobas morio* y *Galleria mellonella*” Universidad César Vallejo, señalan que su estudio tuvo como objetivo evaluar la eliminación del PET utilizando larvas y determinar sus características adecuadas y ver el tiempo de mayor biodegradación, como metodología consistió en un diseño experimental ejecutado en tres etapas: la primera comprendió la adquisición de materiales, peceras y larvas; la segunda consistió en la

preparación del PET y el registro biométrico inicial de los insectos; y la tercera abarcó el monitoreo durante 30 días con evaluaciones en los hitos temporales de 1, 10, 20 y 30 días, como resultado mostraron que el consumo de *Zophobas morio* alcanzó su mayor eficiencia a los 20 días, registrando reducciones de 0.16 g con 20 larvas, de 0.53 g y 0.51 g con 30 larvas (para espesores de 0.25 mm y 0.89 mm respectivamente), y de 0.71 g y 0.76 g con el tratamiento de 40 larvas, por su parte, la biodegradación con *Galleria mellonella* fue más eficiente a los 30 días para los grupos de 20 y 40 larvas (con reducciones de 0.17 g y 0.18 g respectivamente), mientras que el grupo de 30 larvas obtuvo su mayor consumo a los 20 días con 0.20 g. Los máximos porcentajes de degradación absoluta se lograron con una densidad de 40 larvas, donde *Zophobas morio* alcanzó un 21.65% y 21.21% de reducción en comparación con el escaso 4.82% y 4.71% de *Galleria mellonella*, en conclusión, el uso de la larva ***Zophobas morio*** tuvo los mejores resultados y siendo más efectivo para la degradación del PET con un tiempo de 20 días ya presentó los mejores resultados.

2.1.3. ANTECEDENTES LOCALES

Rivera (2023) en su tesis “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 “, Universidad de Huánuco, tuvo por objetivo comparar la eficacia degradativa de la larva ***Tenebrio molitor*** de la biodegradación de dichos materiales descartables que son de fécula de maíz y poliestireno, la metodología que aplicó fue de 30 gramos de poliestireno haciendo 5 repeticiones y 30 gramos de fécula de maíz igual 5 repeticiones, en cada envase puso 100 larvas que su tratamiento duró un mes (30 días) dividido en cuatro semanas, como resultado sus datos fueron tomados una vez por semana observando que el poliestireno tuvo una eficacia de 10.50% en altura, en peso 10% y volumen 9.98%, mientras que en fécula de maíz en altura fue de 23.%, en peso de 12% y un volumen de 12%, en conclusión tuvo mayor eficacia en los envases descartables a base de fécula de maíz todo

dependiendo de la adaptabilidad de las larvas a la dieta que serán sometidas.

Condezo (2022) en su tesis “Eficiencia de las larvas **Tenebrio molitor** en la biodegradación de polímeros”, Universidad de Huánuco, tuvo por objetivo determinar la eficiencia de las larvas para la biodegradación evaluando parámetros físicos y químicos, la metodología que usó en la selección de muestras fue de 0.231 g de tres polímeros como tecnopos D10, bolsas de baja densidad y pañales, ejecutando 5 repeticiones usando una cantidad de 70 larvas, previo al ensayo esas larvas pasaron por un periodo de ayuno de 6 días durante un periodo de dieta absoluta de 45 días, como resultado en sus 3 prototipos observó que la masa que iniciaron fue de 0,021 g y 0,027 g y terminando con un peso de más de 0,090 a 0,185 g, en los parámetros químicos como el Potasio se obtuvo mayor en los pañales 0,101 % y el fósforo igual en los pañales con un 0,48%, en conclusión la eficiencia que obtuvo con dicho tratamiento fue del 86,123 % aumentando su masa de 0,163 g, demostrando que el *Tenebrio molitor* es altamente eficiente para la biodegradación.

Olivas (2025) en su tesis “Evaluación de la eficiencia degradativa de las larvas del **Zophobas morio** en la biodegradación del poliestireno, Huánuco, 2024”, Universidad de Huánuco, tuvo como objetivo evaluar la eficiencia degradativa de la larva sobre el poliestireno, la metodología usó 440 larvas distribuidas en grupos de 50, 70 y 100, usando un grupo control para sus periodos de 15 y 30 días, uso 80 gramos de tecnopor en porciones de 10 gramos a cada grupo, como resultado el recipiente de 30 días con 100 larvas presentó la mayor degradación con una degradación de 6.3%, mientras que la menor pérdida fue con 50 larvas en 15 días equivalente a 0.2%, como conclusión presento que la larva son eficientes en la biodegradación del poliestireno en condiciones controladas con un rendimiento de 6.3%.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. DEGRADACIÓN DE PLÁSTICOS

➤ Procesos de degradación

La degradación de plásticos se fundamenta en dos procesos distintos que pueden acelerar su descomposición, el primero viene a ser un proceso químico o biológico (biodegradación) y el segundo proceso físico (foto degradación). El primero método es la más conocida pero no se trabaja mucho o no se elabora mucha información en estudios, en este caso se menciona que los microorganismos del suelo atacan en primer lugar, causando que una parte importante de las películas del plástico desaparezca (Nations, 2002), por su parte (Escudero Castejón, 2011) menciona que el plástico se dice que es degradable cuando su estructura química sufre modificaciones que le resultan la pérdida de algunas propiedades que va depender que la prueba que se esté aplicando y de la unidad de tiempo en que se aplica dicha prueba, estos resultados determinan la clasificación del plástico estudiado en función de las propiedades químicas y físicas, menciona que un requisito fundamental para que los componentes como el polímero sean considerados degradables tienen que contener grupos en su cadena principal que se rompan rápido por acciones de factores de fuera de origen físico o químico, que requiere es conseguir la unión del polímero y su cambio de estructura química y descomponerse en algo compatible para el medio ambiente, también se recalca como consecuencia de la degradación, en un polímero ocurren cambios físicos por la decoloración, perdiendo el brillo exterior, causante de grietas, superficie pegajosa, erosión que se dan en la superficie y pérdidas como la resistencia a la tracción y alargamiento, en la parte química consiste en la fractura de cadenas, alteraciones en los

➤ Tiempo de degradación de los plásticos

El plástico es un material con un largo periodo de degradación, por eso el desarrollo de descomposición es muy lento, los plásticos que genera la humanidad tardan un siglo en degradarse o descomponerse dependiendo del tipo o material.

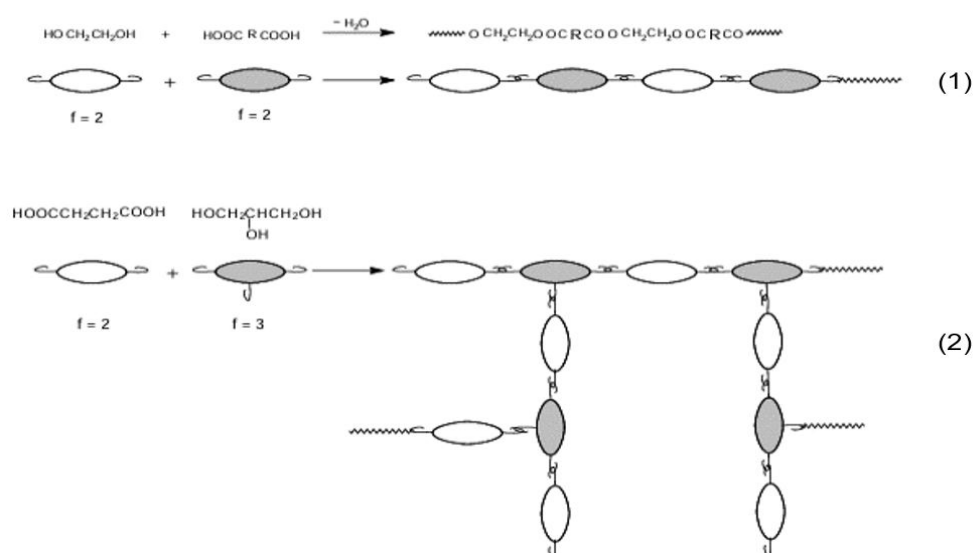
Las bolsas de plástico convencionales, las que usamos para compras, elaboradas con polietileno de baja densidad (LDPE) tardan en degradarse alrededor de 150 años. Un envase de plástico PET tarda hasta 1000 años en descomponerse por completo y utensilios como vasos o platos plásticos en torno a 50 años (Lahaoz, 2024).

2.2.2. TIPO DE POLIMEROS

Los polímeros son un tipo de macromolécula, que se caracteriza por tener una unidad que se repite a la largo de la molécula, estas mismas se combinan y hacen una reacción en la que monómeros se combinan químicamente para formar un polímero, creando una cadena molecular más grande. forma la unidad estructural repetitiva (UCR) o monómero. A parte de estos polímeros que se pueden considerar naturales, han sido desarrollados otros polímeros. El objetivo es crear alternativas a ciertas macromoléculas que son naturales, como el caucho y la seda (Carrasquero, 2024).

Figura 1

Estructura de los poliéster y polímeros



Nota. Estructura de un poliéster lineal (1) y un polímero tridimensional con enlaces cruzados (2), por Carrasquero, 2004.

Los polímeros son un compuesto constituido por grandes moléculas, que se obtiene a partir del vínculo de partículas más

diminutas denominadas monómeros de acuerdo a la figura 2 (Valencia et al., 2019).

Figura 2

Orden de los polímeros a base de los monómeros



Nota. Diferencias de enlaces químicos simples y repetitivos, por Valencia et al., 2019.

Según un polímero puede ser natural o sintético, los polímeros naturales son aquellos que se encuentran como tal en la naturaleza, como la celulosa, el almidón, las proteínas, el látex y las resinas naturales. Los polímeros sintéticos son producidos por el hombre a partir de moléculas derivadas del petróleo, gas natural, carbón. Y entre ellos se menciona el polietileno, el polipropileno, el PVC y el teflón. En la tabla 1 se presentan algunos de los polímeros convencionales más empleados y su unidad repetitiva que los conforma.

Tabla 1

Polímeros convencionales comunes

Polímero	Aplicaciones
Polietileno (PE)	Bolsas de todo tipo, envases y contenedores para jugos, leche y agua, juguetes, botellas para detergente.
Polipropileno (PP)	Bolsas, bandejas, vasos, juguetes, botellas, tarros, tapas de botellas, películas.
Policloruro de vinilo (PVC)	Tuberías, envase, blisters, mangueras, suelas para zapatos, cables, películas termoencogibles.
Poliestireno (PS)	Vasos, bandejas, cajas, cubiertos desechables, juguetes, envases cosméticos, espumas, embalaje.

Politereftalato de etileno (PET)	Botellas para bebidas carbonatadas y agua, botellas para aceites, envases para bebidas y alimentos, bandejas.
---	---

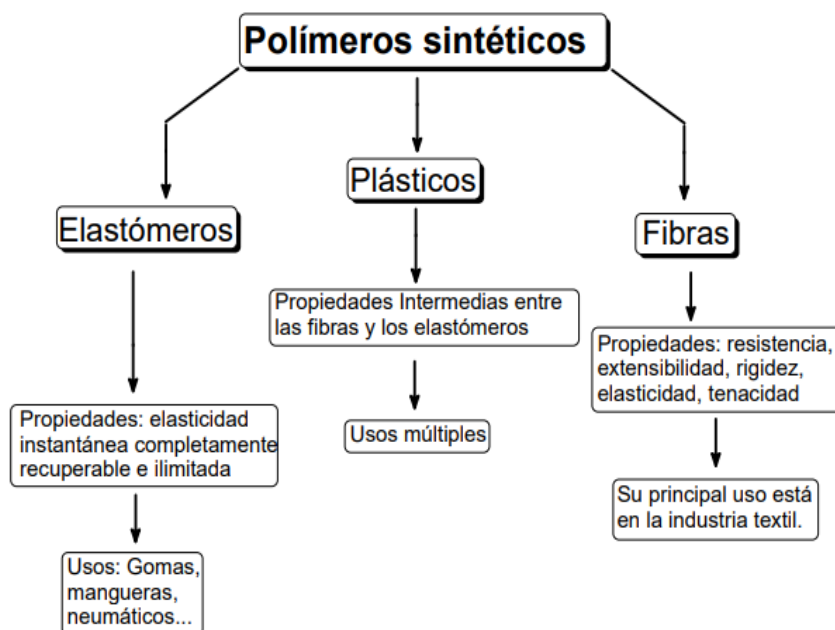
Nota. Formación química repetitiva de los polímeros convencionales y tipo de aplicación. (Valencia et al., 2019)

2.2.2.1. Polímeros comerciales

Se pueden clasificar en términos generales, como plásticos, fibras y elastómeros, Cabe precisar también que muchos polímeros son clasificados en distintas categorías por sus características particulares (Carrasquero, 2004).

Figura 3

Polímeros creados por procesos industriales



Nota. Clasificación y propiedades de los polímeros sintéticos, por Carrasquero, 2004.

2.2.2.2. Plásticos

(Carrasquero, 2004) Menciona que los plásticos llamados también comodities, siendo un material que se fabrica en grandes cantidades y precios bajos, siendo utilizados en la amplia variedad de aplicaciones diarias, como recipientes, utensilios domésticos, juguetes. Se caracterizan por sus propiedades particulares metálicas o cerámicas, a los que

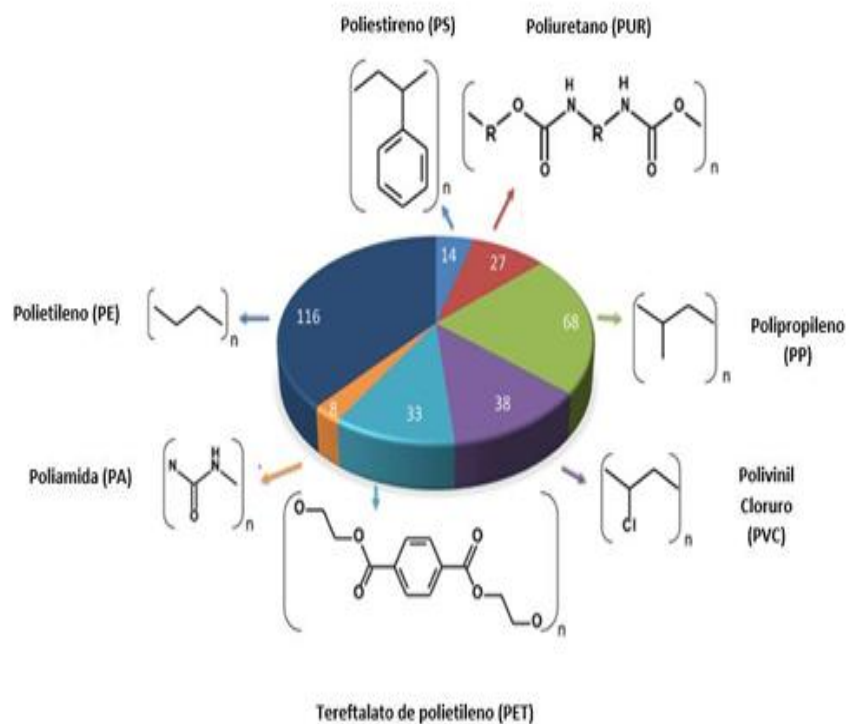
superan por su menor densidad y mayor facilidad de procesamiento.

Estos materiales tienen propiedades excepcionales que los califican como polímeros de vanguardia para el futuro. Entre las propiedades más relevantes de ellos destacan la biocompatibilidad y la formación de fases cristal líquido.

(Danso et. al, 2019) menciona que los principales polímeros que se generan de importancia son el poliuretano (PUR), polietileno (PE), poliamida (PA), tereftalato de polietileno (PET), poliestireno (PS), cloruro de polivinilo (PVC) y polipropileno (PP).

Figura 4

Principales Polímeros



Nota. Tipos de polímeros y su forma química, por Danso et. al, 2019.

2.2.2.3. Tipos de plástico industriales y comerciales

- **Polietileno (PE)**

Este polímero se obtiene a partir del etileno. Las dos principales variedades comerciales son comunes de este polímero son el polietileno de baja densidad (LDPE) y el de alta densidad (HDPE), su diferencia se da por el grado de cristalinidad que logra cada uno. (Carrasquero, 2004). Por su parte (Guerra, 2020) menciona que el polietileno lineal se produce de varias formas, que se incluye la polimerización radical del etileno y la polimerización del etileno dando con un catalizador de óxido metálico, teniendo formas en cómo se aplica como el moldeo por soplado donde se da la producción de plásticos y recipientes por soplado durante 40% del polietileno lineal producido, el otro es por moldeo de inyección donde alrededor del 20% del polietileno lineal producido se utiliza en el moldeo de juguetes y utensilios domésticos.

- **Polipropileno (PP)**

El polipropileno se produce polimerizando propileno. Mediante el proceso Ziegler-Natta se pueden obtener polímeros muy regulares con un contenido de polímero isostático de al menos el 90%, con propiedades similares al HDPE. Para la producción de tubos, fibras de cuerda, textiles y películas para envases de alimentos. (Carrasquero, 2004). Por su parte (Guerra, 2020) menciona que el polipropileno siendo el más ligero de los plásticos más importantes, con una densidad de 0.905. Su alta cristalinidad le proporciona una elevada resistencia a la tracción, rigidez y dureza aplicándose en el campo automotriz y las herramientas.

- **Poliestireno (PS)**

Esto lo hacen los radicales libres que utilizan peróxidos. El poliestireno obtenido es esencialmente atáctico. Hay tres tipos de poliestireno comercial: el poliestireno, que se utiliza para fabricar vasos de plástico desechables, el

poliestireno cristalino, que se utiliza para contenedores, y el poliestireno expandido, que se utiliza para materiales de embalaje. (Carrasquero, 2004).

- **Poliuretano (PUR)**

Se pueden sintetizar usando diferentes poliéster o polioles de poliéster. El poliuretano es un polímero de unidades orgánicas que están conectadas por carbono, la incorporación adicional de estructuras de anillos aromáticos teniendo un mayor impacto en las propiedades físicas y químicas, también es un sintético ampliamente utilizado para la producción de espumas, materiales de aislamiento, recubrimiento textiles y pintura, con más de 27 toneladas que se producen anualmente ocupando el quinto lugar entre los polímeros sintéticos más producidos (Danso et. al, 2019).

- **Polimetilmetacrilato (PMMA)**

Este material, de naturaleza amorfa, destaca por su transparencia, lo que lo hace ideal como reemplazo del vidrio. (Carrasquero, 2004).

- **Policloruro de vinilo (PVC)**

Se considera como un plástico flexible y su producción es menos, su uso abarca desde la construcción empleando en productos de calandrado, fabricación de tubería, dispositivos de uso médico, etc. (Carrasquero, 2004).

- **Politetrafluoroetileno (Teflón)**

Es un material resistente, flexible y con alta resistencia química y térmica, además de ser un destacado aislante. Su uso se da en técnicas tales como sellantes, aislantes eléctricos, recubrimientos inertes y valvulería. (Carrasquero, 2004).

- **Poliamidas y poliésteres**

Tienen una principal aplicación en fabricación de fibras, muchos de ellos debido a su versatilidad que son usados en

piezas de plásticos tal como el nylon-6.6 que se trata de un material industrial que encuentra aplicación en rodamientos y engranajes o como el polietileno tereftalato (PET) que se usa en la elaboración de botellas y dichas películas de envoltorios. (Carrasquero, 2004).

- **Plásticos termoestables**

Las resinas fenol formaldehído se preparan por una reacción de condensación entre fenol y el formaldehído que forman el polímero con el entrecruzamiento que se controla. Su producción es de piezas eléctricas de diferentes usos. (Carrasquero, 2004).

- **Elastómero**

Se trata de materiales que se caracterizan por una elasticidad inmediata, recuperación completa y no retención ante grandes deformaciones, además estos materiales presentan un elevado peso molecular que poseen una Tg muy baja, lo que les confiere una elevada flexibilidad esquelética. Las moléculas de estos materiales contienen una moderada concentración de entrecruzamiento porque puede evitar el desplazamiento de la cadena y la deformación elástica pueden observarse cuando se estira (Carrasquero, 2004), por su parte (Gomis, 2012) menciona que los elastómeros o cauchos polibutadienos o que contiene dobles enlaces en la cadena principal, haciendo que las cadenas de polímero se encuentran enrollados entre ellas, lo cual les da más flexibilidad soportando deformaciones muy grandes y así recuperando su forma inicial. Son materiales muy tenaces, resistentes a aceites y grasas y al ozono, presentan buena flexibilidad a menores temperaturas de transición vítrea inferiores a la temperatura ambiente y sus desventajas es que requieren un proceso lento, consumiendo grandes cantidades de tiempo y energía y en principio no son reciclables. En los últimos años de desarrollo un grupo de elastómeros llamados

como termoplásticos (TR), son sometidos a una reticulación química y física. Tienen las propiedades de desgaste de los elastómeros y las propiedades de fusión de los termoplásticos, normalmente PP, y del caucho, normalmente EPDM (caucho de monómero de etileno-propileno-dieno).

• Fibras

Son capaces de orientarse para formar filamentos largos y delgados como el hilo y que poseen una gran resistencia a lo largo de su eje de orientación. A escala macroscópica, la fibra debe ser flexible y homogénea, con una relación longitud/diámetro ≥ 100 .

Sus principales características es que son resistentes, extensibilidad, rigidez, elasticidad y resistencia. Se aplican más en la industria textil. (Carrasquero, 2004)

Tabla 2

Clasificación de los plásticos convencionales según sus propiedades térmicas y principales aplicaciones

Abreviatura	Abreviat ura	Tipo de estruct ura	Propiedades térmicas	Aplicaciones
Polietileno	PE	C-C	La temperatura superior de trabajo está entre unos 55°C-120°C si es de alta densidad o entre unos 50°C-90°C si es de baja densidad	Bolsas reutilizables, contenedores, envasado de comida, juguetes, botellas de diversos productos como leche o champú
Abreviatura	PS	C-C	La temperatura superior de trabajo suele ser entre 50°C-95°C	Envases, placas de Petri, material de laboratorio, empaquetado de lácteos, aislante en edificios, equipo

Abreviatura	Abreviatura	Tipo de estructura	Propiedades térmicas	Aplicaciones
Polipropileno	PP	C-C	La temperatura superior de trabajo suele ser entre 90°C-120°C	electrónico, frigoríficos, gafas Empaquetado de comida, envoltorios de dulces, tapones, microondas, tuberías, automóviles
Polivinil cloruro	PVC	C-C	La temperatura superior de trabajo suele ser entre 50°C-75°C.	Marcos de ventana, paredes y suelos, tuberías, herramientas de jardinería, piscinas hinchables.
Poliuretano	PU	Heteroatómica	La temperatura superior de trabajo suele ser entre 90°C-150°C	Aislamiento en edificios, espuma, anticorrosivo para pintura, colchones, frigoríficos.
Tereftalato de polietileno	PET	Heteroatómica	La temperatura superior de trabajo suele ser entre 115°C-170°C	Botellas de agua, refrescos y zumos, papel de aluminio, fibras textiles
Poliamida	PA	Heteroatómica	La temperatura superior de trabajo suele ser entre 80°C-160°C.	Componentes eléctricos y electrónicos, equipaje, muebles, automóviles, textiles, alfombras, ropa de deporte

Nota. La tabla muestra la clasificación de los plásticos convencionales. Obtenido de (Campos, 2021).

2.2.2.4. Contaminación por polímeros

Los polímeros de alto peso molecular y que tienen la propiedad de ser maleables y moldeables son derivados del petróleo por la fabricación y bajos costos y sus usos múltiples y los tipos de plásticos que son más utilizados en esto se encuentra el Poliuretano (PU), mencionando que la producción mundial de plásticos supera los 300 millones de toneladas, por la cual han sido clasificadas de acuerdo con su tamaño en macro plásticos (mayor a 2cm), meso plásticos (entre 0.5 y 2 cm) y micro plásticos (entre 0.001 y 0.5 mm), donde la excesiva producción y presencia de los micro plásticos es una amenaza para la salud humana, ecosistemas y biodiversidad. (Álvarez, 2022).

La mayoría de las PU comerciales están reticuladas químicamente teniendo un enlace de uretano muy estable, eso perjudica mucho porque pueden durar mucho tiempo en vertederos llegando a contaminar el medio ambiente, el uso de isocianatos crea problemas en la gestión de residuos porque son perjudiciales para las personas y el medio ambiente siendo venenoso y dañino ya que la fabricación de isocianato emplea con frecuencia fosgeno siendo una toxina peligrosa. (Mayankkumar, 2025).

El poliuretano por su compleja estructura dificulta su degradación y requiere procesos especializados o actividad microbiana, rompiendo los enlaces uretano y éster, mientras que la degradación oxidativa forma grupos de carbonilo bajo radiación UV, por la cual los microorganismos producen enzimas que pueden hidrolizar el PU llevando la formación de metabolitos biodegradables convirtiendo al PU en dióxido de carbono, agua y bioamasa dependiendo del tipo de microbiana y condiciones ambientales. (Zhang et al. 2024).

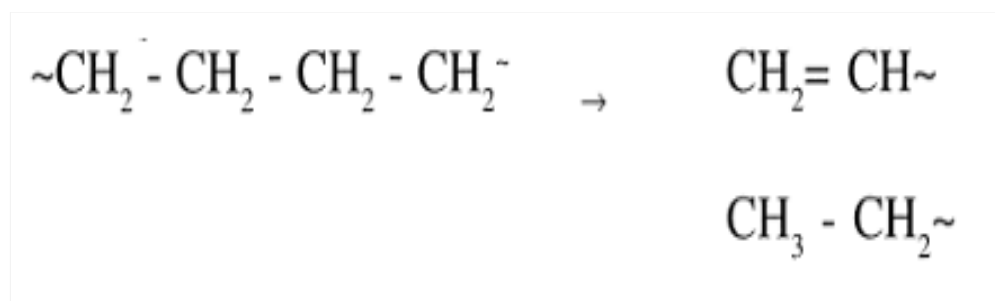
En el Perú el promedio de personas usa 30 kilogramos de plástico al año, la gestión de dichos residuos es la parte problemática en el país ya que entre el 65% y 70% de residuos sólidos municipales tienen como destino los botaderos y solo el 20% como destino a rellenos sanitarios, es así como los residuos llegan a las playas y observando el impacto negativo de la actividad humana. Por este motivo es que se forman los micro plásticos ya que pasan diversos procesos fisicoquímicos y duran muchos años por su composición química, esto afectando al ser humano y seres vivos del mar. (Palomino, 2022).

2.2.3. DEGRADACIÓN DE POLIMEROS

Se entiende por degradación a la pérdida de su estructura molecular mediante procesos químicos donde se rompen los enlaces primarios del polímero. Cuando dicha degradación empre la cadena principal se llega a formar moléculas más pequeñas (González, 1997).

Figura 5

Proceso de degradación del polímero en su reacción química

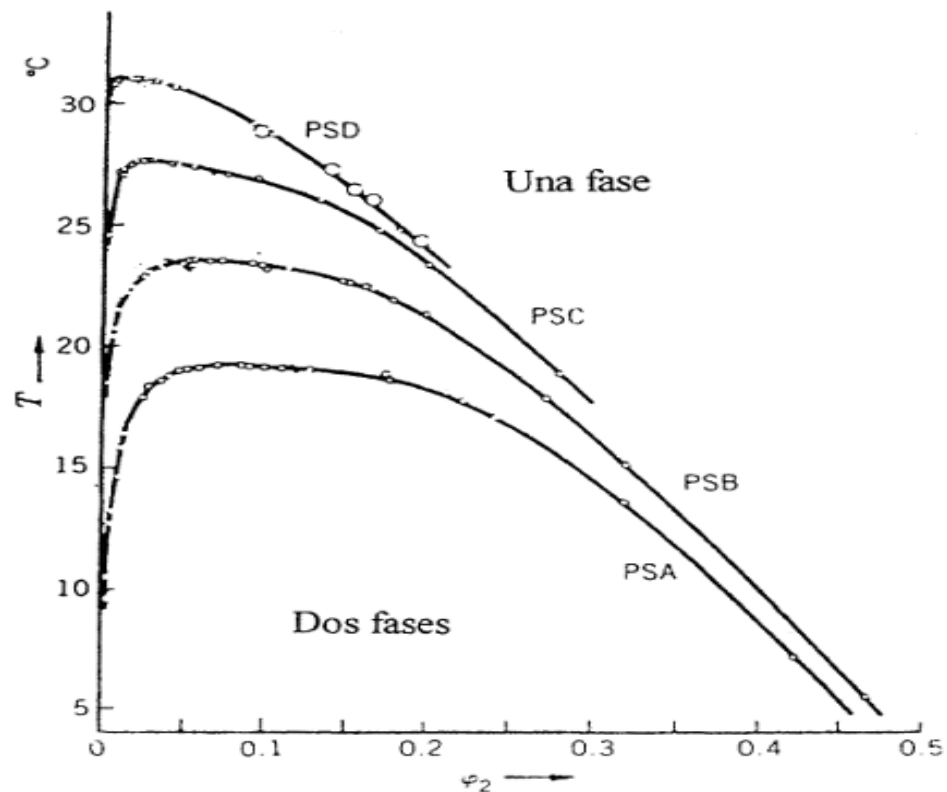


Nota. Ruptura molecular del polímero, por González, 1997.

También se originan productos ramificados o incluso reticulados, cuando la degradación resulta en la eliminación del monómero se denomina despolimerización (González, 1997).

Figura 6

Diagrama de fases del poliestireno en ciclohexano



Nota. Degradación del monómero llamado despolimerización – PSA ($M=43600$), PSB ($M=89000$), PSC ($M=250000$) y PSD ($M=1.270000$ g/mol), por González, 1997.

2.2.3.1. Concepto de biodegradación

(Ecoembes, 2023) menciona que la biodegradación de plásticos es el proceso donde los microorganismos presentes en el ambiente descomponen los materiales plásticos en sustancias más simples, como agua, dióxido de carbono y compuestos orgánicos, este proceso es facilitado por presencia del agua, oxígeno y a veces la luz solar, depende del tipo de plástico y que aditivos contenga. Algunos ejemplos de plásticos biodegradables incluyen el ácido poliláctico (PLA), el polihidroxialcanoato (PHA) y el polibutileno succinato (PBS), estos plásticos son fabricados a partir de almidones vegetales y están diseñados a descomponerse más rápido. El polipropileno constituye el 28% de los residuos plásticos globales, aunque solo el 1% se recicla.

(Arela et al., 2020) La biodegradación es un proceso natural en el que las sustancias se descomponen en dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), agua (H_2O) y algunos compuestos orgánicos mediante la acción enzimática de microorganismos. La colonización de bacterias y hongos en la superficie del polímero demostró este proceso.

(Bustamante, 2012) menciona que los organismos vivos sintetizan las proteínas, ácidos y polisacáridos, incluidos la celulosa, sino que pueden degradarlos. Evidentemente los polímeros naturales, incluido la madera y el marfil se eliminan, esto se debe a la acción de varios tipos de enzimas, que pueden contrarrestarse mediante purificación y aislamiento físico y químico. Asimismo, los polímeros sintéticos no son susceptibles a las enzimas generadas por microorganismos, siendo los microbios la principal causa de la degradación biológica. Los microorganismos tienen un papel principal en la descomposición de la materia orgánica habiendo una cantidad, por ejemplo, hongos, bacterias y actinomicetos. que generalmente existen en la tierra y bajo condiciones especiales atacando los poliésteres alifáticos, los poliuretanos y las poliamidas.

El término biodegradación se refiere a la transformación y descomposición de polímeros u otros tipos de plásticos por enzimas y/o microorganismos (como bacterias, hongos y algas), es decir, biodegradación parcial o completa, también es el resultado de la digestión, absorción y metabolismo de compuestos orgánicos. También viene a ser un proceso natural, permitiendo la eliminación de compuestos nocivos siendo indispensable para el reciclaje de los elementos en la biosfera. La descomposición puede llevarse a cabo en presencia de oxígeno (aeróbica) o en ausencia (anaeróbica). (Escudero Castejón, 2011).

2.2.3.2. Tipos de biodegradación

Dado que el plástico es un material muy versátil, sus usos son numerosos y diversos. Son materiales ligeros, aislantes térmicos y eléctricos, resistentes a la corrosión, duraderos y transparentes, entre otras muchas propiedades. Concretamente en Europa, sus principales aplicaciones son: empaquetado, envases, embalajes y envoltorios (39,6%), edificación y materiales de construcción (20,4%), aplicaciones en movilidad y transporte como automóviles (9,6%), dispositivos eléctricos y electrónicos tales como teléfonos móviles o televisiones (6,2%), herramientas para agricultura e invernaderos (3,4%), deporte y ocio (4,1%) y otros (16,7%) como aplicaciones de ingeniería mecánica, muebles o atención sanitaria. (Campos, 2021).

- **Biodegradación aeróbica**

En presencia de oxígeno, los microorganismos descomponen los compuestos orgánicos en dióxido de carbono, líquido y sales minerales y nueva. Cuando se determina un producto biodegradable, es muy necesario definir el entorno en el que se pretende biodegradar. (Aimplas, 2020).

- **Biodegradación anaeróbica**

En la digestión anaeróbica se produce la degradación de la materia orgánica mediante la acción conjunta de diversos microorganismos en condiciones de ausencia de oxígeno. Los digestores anaerobios pueden trabajar en condiciones mesófilas (37°C) o en condiciones termófilas (52°C). En condiciones termófilas, los digestores presentan una mayor eficiencia en la degradación de materia orgánica. (Aimplas, 2020).

2.2.3.3. Etapas de la digestión anaeróbica:

- Hidrolisis: Los microorganismos secretan enzimas extracelulares al medio ambiente que descomponen las moléculas de cadena larga y las convierten en moléculas que los microorganismos pueden absorber.

- Acidogénesis: Los microorganismos acidogénicos convierten estas moléculas de cadena corta en ácidos grasos volátiles.
- Acetogénesis: Conversión de ácidos grasos volátiles en ácido acético.
- Metanogénesis: Los microorganismos metanogénicos utilizan ácido acético, H₂ y CO₂ para producir CH₄ y CO₂ finales.

2.2.3.4. Fases de la biodegradación

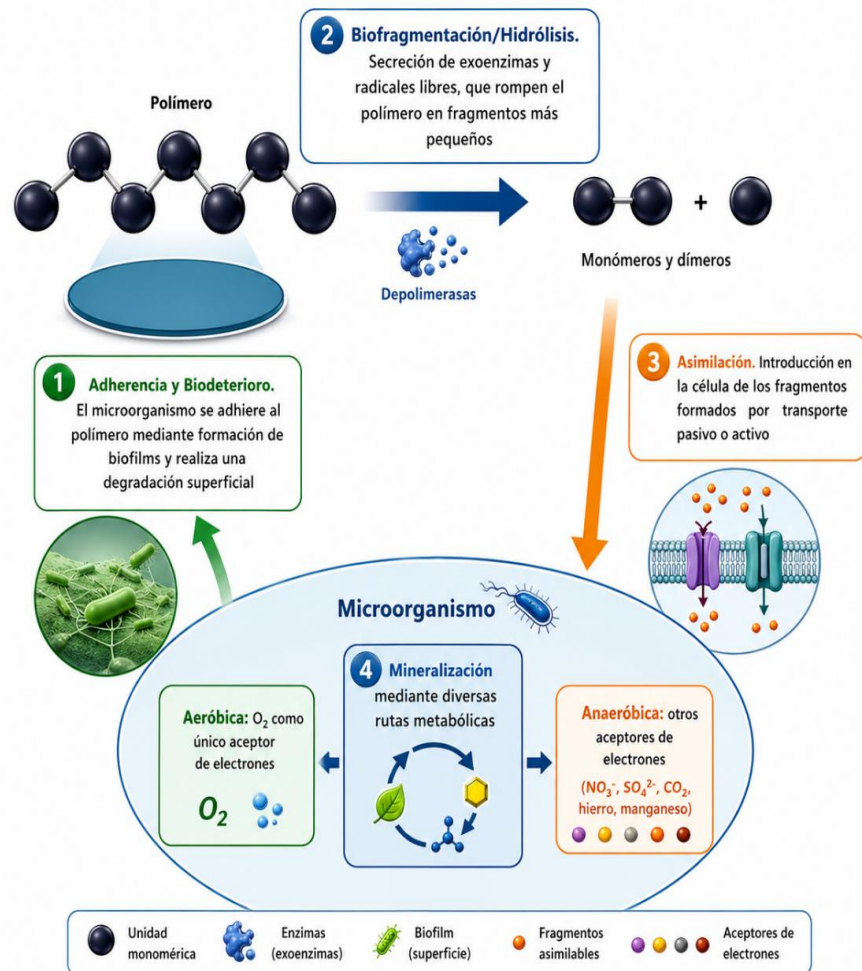
El principal mecanismo involucrado en la biodegradación de plásticos consiste en la unión de los microorganismos al polímero y su posterior colonización con intervención de enzimas. Consiste a grandes rasgos, en la unión de la enzima a su sustrato, y posteriormente, la hidrólisis. Debido a que este primer proceso de unión o adsorción de la enzima a la superficie del sustrato para formar el complejo enzima-sustrato es más lento que la reacción de hidrólisis, esta sería la parte limitante de las reacciones de despolimerización. El proceso general de biodegradación se puede dividir de una forma más detallada en 4 etapas principales: adherencia y biodeterioro, biofragmentación/hidrólisis, asimilación y, mineralización (Campos, 2021).

Los microorganismos degradan los polímeros hasta mineralizarlos completamente (convertirlos en CO₂ y H₂O) utilizando distintos mecanismos metabólicos, bioquímicos y enzimáticos. Las enzimas son muy específicas de cada especie y cepa, dado que solo son capaces de degradar unos pocos polímeros concretos. Los microorganismos y sus enzimas son responsables de biodegradar distintos grupos funcionales y plásticos completos como el PET. La degradación de los polímeros plásticos es observable por la alteración de distintas propiedades del plástico como son la reducción de peso o la pérdida de fuerza mecánica y cambios en las propiedades superficiales del plástico. El objetivo final de la biodegradación de plásticos es que estos desechos recalcitrantes se conviertan

en compuestos de bajo peso molecular y que sean integrables en los ciclos biogeoquímicos (Campos, 2021).

Figura 7

Ataque microbiano aeróbico y anaeróbico de polímeros plásticos



Nota. La figura muestra las fases del ataque microbiano aeróbico y anaeróbico de polímeros plásticos, por Campos, 2021.

2.2.4. MÉTODOS DE EVALUACIÓN DE LA BIODEGRADABILIDAD

La OCDE normaliza varias pruebas de biodegradabilidad, donde se hicieron pruebas de incubación aerobia estática de una pequeña cantidad, manteniendo un pH neutro y temperaturas de entre 20 y 25°C. Las sustancias estudiadas fueron añadidas en determinadas concentraciones y definidas como la única fuente de carbono y energía. (Vásquez et al., 2004).

2.2.4.1. Índices de biodegradabilidad

La biodegradabilidad se define con protocolos de estándar internacional. Estos índices están relacionados tanto con las propiedades estructurales como el peso molecular y la morfología superficial de los bioplásticos como con la actividad de microorganismos según se estimó por la evaluación del CO₂, O₂ y CH₄, que representan los principales índices de procesos biológicos aeróbicos y anaeróbicos. La reducción de peso se utiliza a menudo como indicador de biodegradación, también otro indicador es la disminución del carbono total (TC) del bioplástico, análisis visual como la decoloración o erosión superficial (Folino, 2023).

2.2.4.2. Factores de biodegradación

Se rige en factores en tres áreas amplias la primera característica del polímero, segundo condiciones ambientales y la tercera microorganismos. Las condiciones en el medio ambiente, incluida la temperatura, la humedad y la disponibilidad de oxígeno, deben complementar los atributos químicos de los polímeros para facilitar la biodegradación, el microorganismo es un factor importante en la biodegradación y la enzima microbiana es específica del sustrato. (Lim, 2021).

El ataque enzimático ocasiona una erosión superficial que depende estrechamente de las propiedades superficiales de los polímeros. Una elevada hidrofobicidad, una reducida área superficial y una topografía plana de la superficie, son características que inhiben la degradación de los polímeros plásticos por parte de los microorganismos degradadores. Por tanto, existen múltiples factores que condicionan la biodegradación o degradación microbiana de los plásticos, ya sea facilitándola o dificultándola. Estos factores se clasifican en aquellos ambientales o relativos a la exposición, ya sea abiótica (humedad, temperatura, pH) o biótica (enzimas, hidrofobicidad);

y aquellos relativos al polímero (peso molecular, tamaño y forma; aditivos y biosurfactantes) (Campos, 2021).

Figura 8

Clasificación de los principales factores a la biodegradación



Nota. El mapa conceptual muestra los principales factores que afectan a la biodegradación, por Campos, 2021.

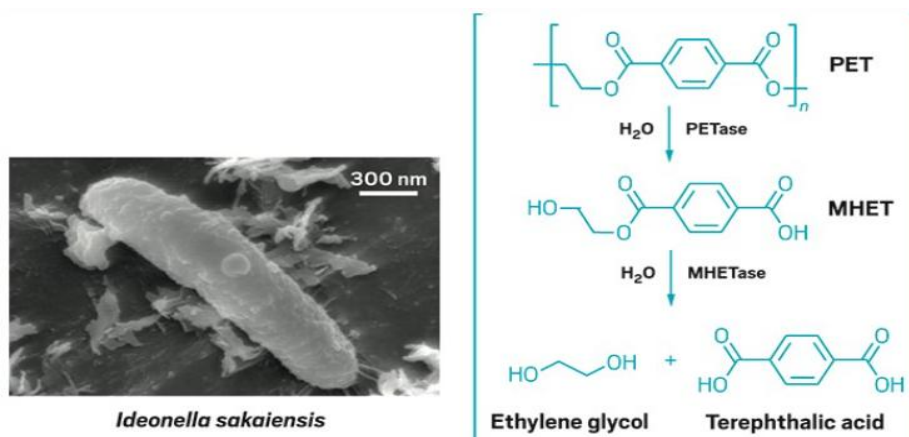
2.2.5. BACTERIAS BIODEGRADORAS DE PLÁSTICOS

2.2.5.1. *Ideonella sakaiensis*

Este tipo de bacteria convierte los plásticos de poli (tereftalato de etileno) (PET) en poli (3-hidroxibutirato) (PHB) siendo un enfoque para la producir plásticos sostenibles. (Waycott, 2022). (FAPESP, 2016) menciona que esta bacteria puede romper las moléculas y digerir plásticos, el material es el PET, en estudios menciona que 60 microgramos fue degradada en seis semanas por el microorganismo.

Figura 9

Bacteria Ideonella sakaiensis



Nota. Degradación de la bacteria de PET a MHET, por Halford, 2016.

2.2.5.2. *Pseudomonas* sp.

Ataca los enlaces químicos que forman el poliuretano y los utiliza como fuente de carbono, nitrógeno y energía donde degrada el plástico. (Waycott, 2022).

2.2.6. LARVAS BIODEGRADORAS DE PLÁSTICOS

Recientemente, se ha demostrado que algunas larvas de insectos son capaces de degradar las estructuras de poliolefina más duraderas, como (PE) y (PS). Una de las larvas es un gusano de cera, que muestra un interés extremo en la degradación del plástico. El impacto de estos microorganismos sobre los plásticos está relacionado con las actividades metabólicas de estos microorganismos, que provocan la liberación de dióxido de carbono al medio ambiente, y se menciona que estas bacterias u hongos utilizan el plástico como fuente de alimento. Se ha demostrado que varias larvas de insectos lepidópteros y coleópteros pueden degradar PE y PS debido a su potencial de biodegradación. (Bertocchini, 2022).

Las bacterias que tienen en el sistema digestivo de las larvas del escarabajo *Zophobas atratus* pueden degradar el poliestireno.

2.2.6.1. *Tenebrio molitor*

El *Tenebrio molitor* es una especie de escarabajo de la familia Tenebrionidae, también caracterizados por ser cosmopolitas y se alimentan de descomposición de materia orgánica. Su alimentación se basa en granos, cereales y harinas; a menudo se les considera una plaga secundaria. También es un insecto de metamorfosis completa, quiere decir que tiene etapas, dicha duración de su ciclo de vida es variable y depende de las condiciones ambientales, donde su temperatura debe estar entre 25-28°C y la humedad relativa de 60% se logra un ciclo de 10 a 12 semanas. (Escobar, 2024).

Tabla 3

Clasificación Taxonómica de Tenebrio molitor

Nombre científico	: <i>Tenebrio molitor</i>
Reino	: Animalia
Subreino	: Eumetazoa
Rama	: Bilateria
Grado	: Coelomata
Serie	: Protostomia
Phylum	: Arthropoda
Subphylum	: Hexapoda
Clase	: Insecta
Sub clase	: Pterygota
Orden	: Coleoptera
Familia	: Tenebrionidae
Género	: Tenebrio

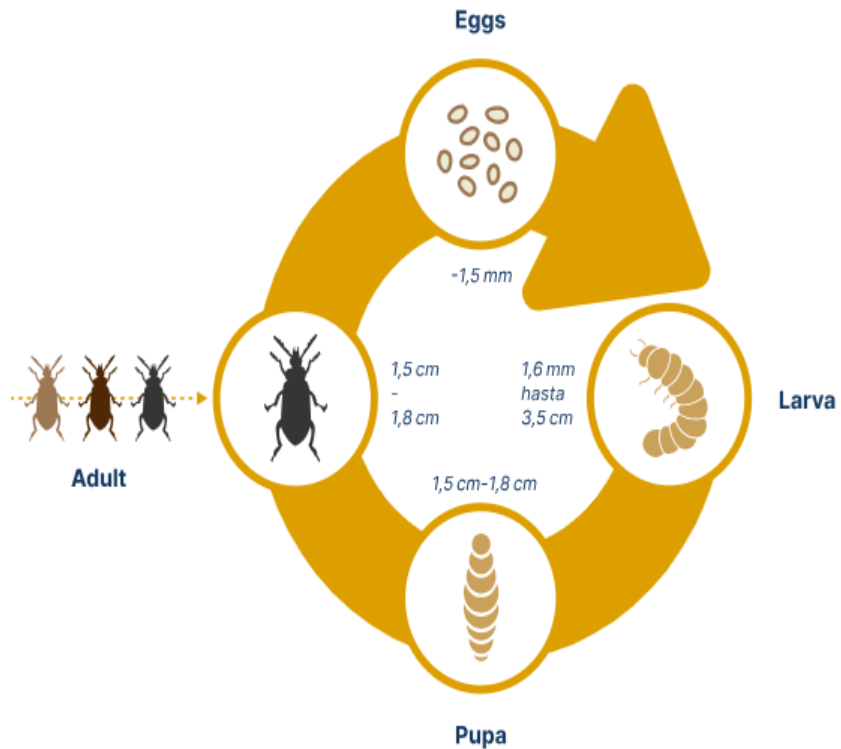
Nota. Taxonomía de la larva a estudiar. (Proteberia)

● **Características del Gusano de harina (*Tenebrio molitor*)**

Es un insecto holometabólico que tiene una metamorfosis completa, cuatro etapas de la vida como huevo, larva, pupa y adulto que se originó en el mediterráneo. Los gusanos de harina se consideraron históricamente una plaga que afectó a los granos almacenados, pero en las últimas décadas se estudiaron con fines alimentarios y de gestión de residuos. (Moruzzo et al., 2021).

Figura 10

*Ciclo de vida del **Tenebrio molitor***



Nota. Medidas de crecimiento en cada fase, por Proteberia.

- **Coloración y morfología**

Tienen un color amarillo anaranjado con 6 patas abdominales en el primer segmento y una cabeza pequeña y más oscura. Los adultos son de color marrón rojizo, a veces casi negros, y siempre brillantes, con pequeñas manchas en el pronoto y los élitros, que están rayados en toda su longitud. (Terrartropoda, 2013).

Figura 11

*Fases de la **Tenebrio molitor***



Nota. Crecimiento de la larva. por Ferrartropoda, 2013.

- **Alimentación**

En cautiverio, se alimentan con variedades de alimentos, pero en este caso se hace una mezcla de recipiente de:

- 25% de harina de trigo o maíz
- 25% de harina de avena
- 15% engorde de pollos primeros días
- 35% salvado

Es aconsejable que se alimente a los tenebrios cuidados de cuando la comida se ponga en mal estado para no atraer ácaros. (Terrartropoda, 2013).

- **Humedad en el crecimiento**

Será suficiente siempre que no baje del 40%. Si se ponen verduras frescas todos los días no se pondrá fuente de agua, se tiene que tener mucho cuidado con el exceso de humedad para

no atraer ácaros y hongos, por eso se recomienda un cultivo seco. (Terrartropoda, 2013).

Las condiciones óptimas de crecimiento son entre 25 y 30°C y una humedad relativa de 50 a 70%, estas larvas necesitan fuentes de calor externas para alcanzar la temperatura corporal óptima para que puedan hacer sus funciones con normalidad. (Protiberia, 2022).

- **Ciclo de vida**

El ciclo de vida de la larva comprende cuatro etapas de huevo, larvas, pupas y adultos, los huevos eclosionan entre 3 y 9 días después de la deposición, en la fase larvario siendo mínimo entre 57 días en condiciones controladas. (Muñoz et al, 2024).

Como la gran mayoría de artrópodos, los *Tenebrio molitor* son ovíparos es decir que ponen huevos, el escarabajo pone huevos y ni bien eclosionan en un transcurso de 1 a 3 semanas entran en la fase larvaria, esta fase dura entre 8 y 10 semanas durante todo ese tiempo hace 12 mudas y aumenta su creciendo antes de convertirse en pupas. (Protiberia, 2022).

- **Cultivo de *Tenebrio molitor***

Algunos factores a considerar incluyen la luz, la temperatura, la humedad, la densidad de población y la nutrición. En sus granjas de producción, utilizan cajas de plástico apiladas verticalmente para separar los estados larvarios y adultos. Los gusanos de la harina son fotofóbicos, lo que significa que tienden a mantenerse alejados de la luz que es beneficiosa para su crecimiento. En producción, generalmente se alimentan con salvado de trigo, que contiene los nutrientes necesarios para el crecimiento, pero se recomienda agregar fuentes de proteínas como levadura de cerveza, soja y caseína, y también es importante proporcionar agua. Los gusanos de la

harina tienen una cutícula gruesa que evita que se sequen, permitiendo tolerar la falta de agua. (Escobar, 2024).

2.2.6.2. Zophobas morio

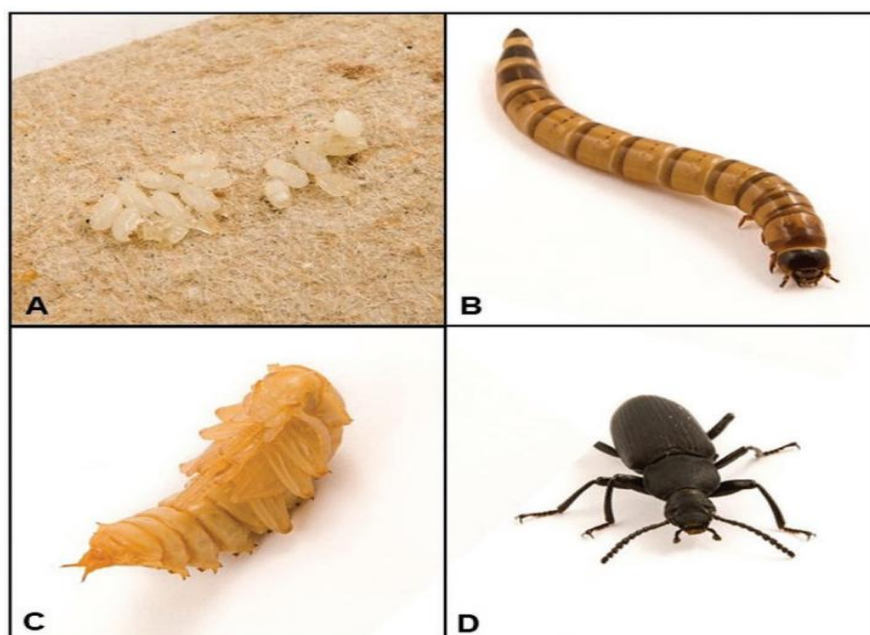
Este escarabajo se puede encontrar ampliamente en zonas de centro y Sudamérica, el tamaño puede variar dependiendo del estado en que se encuentran, los huevos por ejemplo midiendo de 1.2 a 1.4 mm de largo, son de color blanco y durante en esa etapa de 8 -12 días, las larvas miden de 1.2 a 2.5 mm, son de color amarillo y duran en esta etapa un promedio de 6 semanas, presentan varias particularidades de las cuales se destacan un dimorfismo sexual, donde la hembra es más grande que el macho, su vida es nocturno y de día prefieren estar en lugares oscuros. (Martínez, 2023).

- **Características**

Son larvas de color amarillo con extremos anterior y posterior de color marrón oscuro. Tienen un exoesqueleto cilíndrico, fuertemente esclerotizado, estrechado cónicamente desde la base del séptimo al noveno segmento abdominal, su longitud máxima hasta 55mm. Sus huevos eclosionan después de 8 días a 25°C. Las larvas pupan después de 11 a 18 estados, mientras que el mayor porcentaje de pupas se da en 16 o 17 mudas. En los adultos de esta especie de larva miden una longitud de 38 a 57 mm con cuerpo alargado y antenas filiformes, su superficie de los élitros está salpicada de nueve filas de perforaciones con cerdas, estos adultos pueden vivir hasta 6 meses. (Rumbos, 2021).

Figura 12

*Fases del **Zophobas morio***



Nota. Etapas de vida del **Zophobas morio** : (A) huevos, (B) larva de estado tardío, (C) pupa y (D) adulto, por Rumbos, 2021.

Tabla 4

*Clasificación Taxonómica de **Zophobas morio***

Nombre científico	: <i>Zophobas morio</i> (Coleoptera: <i>Tenebrionidae</i>)
Orden	: Coleóptera
Familia	: Tenebrionidae
Género	: <i>Zophobas</i>
Especie	: <i>Z. morio</i>
Distribución	: Centro y Sudamérica, cultivado en EEU y Europa
Tamaño	:
- Escarabajo adulto	: 30 a 34 mm de largo, 10-12 mm de ancho, negro
- Pupas	: 28 a 30 mm de largo, blanco
Huevos	: 1,2 a 1,4 mm de largo, blanco vidrioso
Larvas	: Color amarillo y sin pelo, estado larvario final 6 mm, peso aprox. 1.5 g, 5-6 mm de ancho, amarillo, sin pelos

Nombre científico	: <i>Zophobas morio</i> (Coleoptera: <i>Tenebrionidae</i>)
Dimorfismo sexual	: La cabeza del macho es ligeramente más ancha, mientras que la cabeza de la hembra es más grande que la del macho.
Datos reproducción	: La hembra contiene cerca de 400 huevos. De 20 a 60 huevos
Tiempo de vida	: Escarabajo adulto: 1 año
Estilo de vida (adultos)	: Nocturno, diurno en ambientes oscuros.

Nota. Taxonomía de ***Zophobas morio***, por (Rumbos, 2021)

● **Condiciones de crianza**

Se utilizan habitualmente temperaturas entre 25 y 28°C y una humedad relativa del 60 y 70%, cuando se habla de producción comercial a gran escala se debe tener cuidado para evitar brotes de enfermedades. (Rumbos, 2021).

Zophobas morio requiere de materiales como el tipo de caja, estándares de madera o metal, tipo de alimento, el tipo de material de la caja se elige de acuerdo a la región tropical, se necesitan cajas de crianza que permitan disipar el calor generado. Fuera del rango óptimo de 24 a 29°C, las especies generalmente no son adecuadas para el cultivo industrial tropical en cajas de plástico, cultivos a pequeña escala con baja densidad larvaria, agricultura: se pueden utilizar bandejas de plástico industriales o contenedores de barril. Las cajas se pueden colocar en estantes de metal o madera en uno o más niveles, proporcionando suficiente espacio para levantar la tapa y permitir la ventilación y el mantenimiento. (Schulte, 1996).

● **Ciclo de Vida**

En su etapa de larva alcanzan los 60 días o bien los 4 a 4.5 cm de longitud mínima para entrar a la madurez, momento que la larva está preparada para su inicio del proceso de

metamorfosis buscando un lugar seco y seguro para empupar. (Francisco, 2021).

- **Enzimas degradativas**

Las larvas, en general, poseen un sistema digestivo que, junto con su microbiota intestinal, les permite descomponer parcialmente ciertos polímeros sintéticos como el poliuretano, el poliestireno y el polietileno. Esta capacidad se debe a la acción conjunta de enzimas digestivas como esterasas, ureasas, oxidasas, lipasas y proteasas, que atacan enlaces químicos presentes en estos materiales, como los enlaces éster (C–O–C), urea (C–N) y carbonilo (C=O). Aunque no son organismos especializados en la degradación de plásticos, algunas especies de larvas han demostrado adaptaciones que, con el tiempo y bajo exposición continua, permiten la transformación física y química de estos residuos, gracias también a la participación de microorganismos simbióticos presentes en su tracto digestivo. (Cardozo, 2020).

2.3. DEFINICIÓN DE BASES CONCEPTUALES

Degradación de Plásticos

Ocurre a través de procesos físicos, químicos y biológicos siendo lentos y varía de acuerdo al material, algunos plásticos pueden llegar a tardar entre 500 y 1000 años en degradarse en vertederos o ambientes naturales debido a la resistencia misma de su composición. (Freire, 2024).

Biodegradación

Es la disolución química de los materiales por bacterias u otros medios biológicos, está relacionado con ecología, gestión de residuos sólidos, biomedicina, y medio ambiente. También en el proceso de biodegradación hay factores como los microorganismos y la temperatura siendo importante para determinar la tasa de biodegradación. (Centro Nacional de Estudios del Medioambiente., 2019).

Polímero

Es un proceso químico mediante el cual los monómeros se combinan por adición o condensación para formar el polímero, siendo una cadena lineal o una macromolécula tridimensional, la mayoría de polímeros lineales y ramificados son termoplásticos, habiendo muchos materiales como el PU, PVC, PP, PS, PET, PC. (Sistema Nacional de Información Técnica en Ambiente y Cambio Climático, 2024).

Poliuretano

Es un material plástico a bases de hidroxílicas combinadas con diisocianatos, clasificado como poliuretano, ya sea termoestable o termoplástico, que se presenta en diversas formas para diferentes usos, que consiste en pequeñas moléculas que están conectadas entre sí, habiendo varias formas como espuma flexible, espuma rígida y uso para construcción. (Danso et. al, 2019).

Residuos plásticos

Se refiere a varios tipos de polímeros, materiales compuestos de moléculas orgánicas de alto peso molecular derivados del petróleo, se dice residuo al ser descartado por su poseedor, y sus características es la larga duración dependiendo del tipo de plástico. (Ojeda, 2019).

Enzima microbiana

Se dan de microorganismos como bacterias, hongos o levaduras poseen una característica muy interesante que trabajan en condiciones suaves, son fácilmente accesibles y no alteran el medio ambiente. (Mata, 2021).

Cosmopolitas

Es una especie de distribución universal que puede hallarse en cualquier parte del mundo, habitando en aquellos ambientes que sean propicios para su supervivencia. (Graziati, 2022)

Zophobas morio

Es una especie de insecto de la familia tenebriónidos llamado gusano rey, siendo la larva de un escarabajo oscuro, son ampliamente utilizados como

alimento vivo para reptiles, anfibios, aves y algunos mamíferos. (Martínez, 2023).

Tenebrio molitor

Especie de insecto de la familia tenebrionidae llamado gusano de harina, son buenos como alimentos para reptiles, y usados en la biodegradación y en las industrias alimentarias. (Escobar, 2024).

2.4. HIPÓTESIS

H₀: No existe una diferencia significativa en la eficiencia biodegradativa entre las larvas ***Zophobas morio*** y ***Tenebrio molitor*** en los residuos de poliuretano en el distrito de Pillco Marca – Huánuco – 2025.

H₁: Existe una diferencia significativa en la eficiencia biodegradativa entre las larvas ***Zophobas morio*** y ***Tenebrio molitor*** en los residuos de poliuretano en el distrito de Pillco Marca – Huánuco – 2025.

2.5. VARIABLES

2.5.1. VARIABLE DE CALIBRACIÓN

Eficiencia Biodegradativa de las larvas

2.5.2. VARIABLE EVALUATIVA

Biodegradación de residuos de Poliuretano

2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Variable de calibración	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Unidad de medida
Eficiencia biodegradativa de las larvas	Efectividad con las larvas pueden descomponer un material específico (por lo general, residuos sólidos como plásticos) en compuestos más simples, mediante procesos biológicos, químicos o físicos.	La capacidad de Zophobas morio y Tenebrio molitor para consumir residuos de poliuretano (medido en gramos) en condiciones controladas, considerando además los cambios en su peso (miligramos) y longitud (milímetros) como indicadores del aprovechamiento del polímero durante el proceso de biodegradación.	Nivel de biodegradación del poliuretano	- Cantidad de larvas Zophobas morio	- Numérico
				- Cantidad de larvas Tenebrio molitor	- Numérico
				- Peso inicial de las larvas	- g
				- Tamaño inicial de las larvas	- g
				- Variación de peso de larvas	- g
				- Variación de tamaño de larvas	- g
Variable de evaluativa	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Valor Final
Biodegradación de residuos de poliuretano	Es el proceso natural en el cual los microorganismos (bacterias, hongos, larvas, etc.) descomponen el poliuretano, un polímero sintético, en compuestos más simples, como dióxido de carbono, agua.	Fragmentos sólidos prepesados (g) de poliuretano postconsumo, utilizados como único sustrato para evaluar su consumo por larvas en condiciones controladas.	- Tipo de plástico	- Clasificación del polímero	- Tipo de poliuretano flexible y viscoelástico
			- Cantidad de poliuretano	- Masa inicial y final del poliuretano	- g
			- Tiempo de exposición	- Duración total del ensayo	- días
			- Nivel de consumo larva Zophobas morio	- Reducción de masa del poliuretano	- g
			- Nivel de consumo larva Tenebrio molitor		

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

La presente investigación es de tipo aplicada y se ubica en el nivel aplicativo, dado que emplea conocimientos consolidados de la biotecnología para intervenir, optimizar y evaluar el rendimiento de un proceso de degradación biológica de polímeros sintéticos en condiciones de laboratorio (Supo y Zacarías, 2020).

De acuerdo con la taxonomía de Supo y Zacarías (2020), el diseño se clasifica estrictamente bajo cuatro criterios metodológicos:

- Según la intervención del investigador: Es experimental (diseño experimental verdadero con medición pre-test y post-test), al manipular deliberadamente la variable independiente (especie de larva y tipo de poliuretano) bajo condiciones ambientales homogeneizadas.
- Según la planificación de la toma de datos: Es prospectivo, puesto que la totalidad de la información analizada corresponde a datos primarios registrados de manera directa y simultánea por el investigador.
- Según el número de ocasiones en que se mide la variable de estudio: Es longitudinal, debido a que las unidades experimentales fueron sometidas a múltiples mediciones cuantitativas sucesivas durante 50 días.
- Según el número de variables de estudio: Es analítico, en razón de que su finalidad es efectuar un contraste estadístico de hipótesis comparativas y de asociación entre los tratamientos establecidos.

3.1.1. ENFOQUE

Es cuantitativo donde se considera la recolección de datos y el análisis estadístico de acuerdo a los datos obtenidos que hará el investigador. (Supo & Zacarias, 2020).

3.1.2. ALCANCE O NIVEL

La investigación tuvo un alcance aplicativo, debido a que se estudió el proceso y los resultados obtenidos en la población con la finalidad de evaluar una alternativa biológica para la degradación y gestión de residuos sólidos de polímeros en el distrito de Pillco Marca, según lo indicado por Supo y Zacarías (2020).

3.1.3. DISEÑO

El estudio se desarrolló bajo un diseño experimental de dos grupos paralelos con medición pre-test y post-test. Este diseño permitió evaluar y comparar el efecto de la variable independiente (agente biológico) distribuida en dos grupos experimentales expuestos a una intervención estratificada, controlando las condiciones del entorno en laboratorio para garantizar que las variaciones observadas respondan a la naturaleza metabólica de las especies (Supo y Zacarías, 2020).

La estructura de los grupos experimentales se delimitó de la siguiente manera:

- Grupo Experimental 1 (GE1): Población de la especie ***Tenebrio molitor*** (n = 10 réplicas consolidadas).
- Grupo Experimental 2 (GE2): Población de la especie ***Zophobas morio*** (n = 10 réplicas consolidadas).

La intervención (X) consistió en el confinamiento de las unidades biológicas ante dietas exclusivas de residuos de poliuretano, evaluando el comportamiento del bloque frente a la familia de estos polímeros mediante una estratificación interna basada en la densidad del material (poliuretano flexible y poliuretano viscoelástico). El modelo metodológico formal del diseño se representa mediante el siguiente esquema:

GE1: O1 - X1 - O2

GE2: O1 - X2 - O2

Donde:

GE1: Grupo Experimental 1 (Población de ***Tenebrio molitor***).

GE2: Grupo Experimental 2 (Población de ***Zophobas morio***).

O1: Observación inicial o pre-test, correspondiente al registro base de las variables biométricas de las larvas y la determinación de la masa gravimétrica inicial del sustrato antes del proceso de exposición.

O2: Observación final o post-test, correspondiente a la medición cuantitativa del nivel de consumo neto del sustrato polimérico, la variación biométrica final de los especímenes y la cuantificación de las excretas acumuladas al concluir el periodo experimental de 50 días.

X1: Intervención en el Grupo 1, consistente en la exposición de ***Tenebrio molitor*** a las matrices de residuo de poliuretano.

X2: Intervención en el Grupo 2, consistente en la exposición de ***Zophobas morio*** a las matrices de residuo de poliuretano.

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

La población del presente estudio estuvo constituida por residuos de poliuretano. La investigación se realizó en la provincia de Huánuco, específicamente en el distrito de Pillco Marca.

El lugar donde se desarrolló el proyecto se ubicó en las siguientes coordenadas UTM:

Tabla 5

Coordenadas de ubicación del lugar o área de estudio

COORDENADAS UTM			
PUNTOS	NORTE	ESTE	DESCRIPCIÓN
1	8897859.00	363239.41	Zona de estudio

Nota. Coordenadas de lugar de ejecución.

El muestreo será no probabilístico que se va a constituir de:

Dos tipos de tratamiento de la dieta de ambas especies de larvas y su punto de referencia.

Para la larva ***Tenebrio molitor*** y ***Zophobas morio*** se separó de acuerdo a los 2 tratamientos y 1 punto de referencia (Salvado de trigo,

Esponja de Lavavajillas, Almohada Memory Foam) homogenizado por la cantidad de poliuretano en los envases lo cual se detalla en la siguiente tabla.

Tabla 6

*Los 03 tratamientos con la larva **Tenebrio molitor** y **Zophobas morio***

Tratamiento	<i>Tenebrio molitor</i>	<i>Zophobas morio</i>
Números de frascos		
Salvado de trigo (grupo control) punto de referencia	Frasco 01	Frasco 01
	Frasco 02	Frasco 02
	Frasco 03	Frasco 03
	Frasco 04	Frasco 04
	Frasco 05	Frasco 05
Esponja de lavavajillas (poliuretano flexible)	Frasco 01	Frasco 01
	Frasco 02	Frasco 02
	Frasco 03	Frasco 03
	Frasco 04	Frasco 04
	Frasco 05	Frasco 05
Almohada memory foam (poliuretano flexible viscoelastico)	Frasco 01	Frasco 01
	Frasco 02	Frasco 02
	Frasco 03	Frasco 03
	Frasco 04	Frasco 04
	Frasco 05	Frasco 05

Nota. Pesos de los tipos de los alimentos.

3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Tabla 7

Técnicas de instrumentos para la recolección de datos

Variable de calibración	Indicador	Valor final	Instrumentos
Eficiencia biodegradativa de las larvas	<i>Zophobas morio</i>	- Días de sobrevivencia	Regla
		- Número de bajas	Balanza gravimétrica
	<i>Tenebrio molitor</i>	- Peso de larvas	
		- Tamaño de larvas	Higrómetro
Variable de evaluativa	Indicador	Valor final	Instrumentos

Biodegradación de residuos de Poliuretano	- Masa de poliuretano inicial	- Cantidad consumida de poliuretano	Balanza
	- Masa de poliuretano final		

Nota. Instrumentos propios de recolección.

Para la recolección de datos se adquirieron ambas especies de larvas de un centro especializado en crianza (La granjita de Insectos) del departamento de Lima, las cuales fueron solicitadas en estado de huevo, con la finalidad de permitir su desarrollo hasta la fase larvaria y asegurar que su ciclo de vida se ajustara al tiempo de evaluación del proceso de biodegradación del poliuretano. Las larvas fueron mantenidas en envases de vidrio, lo que permitió una mejor visualización y facilitó la limpieza periódica de las excretas, evitando así efectos adversos sobre su desarrollo.

El acopio de información de la investigación se organizó en fases.

Fase de campo

En la ubicación establecida, se implementaron los recipientes destinados al alojamiento de las larvas, asegurando condiciones climáticas adecuadas para su crecimiento y bienestar, de acuerdo con lo reportado en los antecedentes sobre el ciclo de vida de cada especie. Para cada grupo de larvas se realizaron cinco repeticiones, conforme al número de días establecidos para el periodo de evaluación experimental.

Instrumentos y/o materiales para implementación

Equipos

- GPS
- Cámara

Materiales

- 30 recipientes
- Tela transpirable

Instrumentos y/o materiales para las muestras

Equipos

- Higrómetro
- Termómetro
- Balanza Analítica de 3 decimales

Materiales

- Guardapolvo
- Guantes
- Mascarilla
- Gorro quirúrgico
- Envases de Poliuretano

Otros

- Cuaderno de campo
- Cámara fotográfica
- Lapicero
- Mapa de ubicación
- Formatos (Anexo VII)
- Ficha de observación
- Plumones

El tiempo de ejecución se hará de 50 días para ver la eficiencia biodegradativa de las larvas sobre los residuos de poliuretano.

Preparación

Preparar las unidades experimentales con las larvas y sustratos correspondientes.

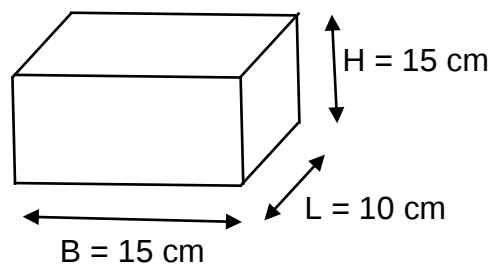
Se van a adquirir 30 envases de vidrio, para tener una mejor visualización de todo ángulo, un mejor cuidado tanto en limpieza.

Se repartirán 35 larvas en cada envase que en total son 30 envases, se hará el pesado para que sea un aproximado de gramos de larvas de acuerdo a la cantidad en cada envase.

En total van a ser 15 envases de vidrio con ***Tenebrio molitor*** y los otros 15 con ***Zophobas morio***.

Primera etapa: Instalación de lugar donde estarán los recipientes y adquirir las larvas, se hará los siguientes pasos.

- El punto de control debe ser identificado donde se va realizar, se usará GPS de celular para la ubicación, expresadas en el sistema UTM.
- Se hará la compra de ambas especies de larvas en un centro o criadero apropiado (La granjita de Insectos) y en aptas condiciones en el departamento de Lima.
- La zona donde estarán dispuestas las larvas en cada envase o recipientes de vidrio será en la misma casa en condiciones apropiadas como la temperatura y humedad.
- Los envases o recipientes de plástico tendrán una medida de 15x10x15 para un mejor desplazamiento y evitar el estrés o aglomeración de las larvas.



- Luego se van añadiendo las larvas dependiendo del tamaño del recipiente para un óptimo desarrollo y dieta de las larvas.
- Se va tapar una tela transpirable por el cuidado de que no se escapen o entre algún insecto afectando el crecimiento.
- El procedimiento se va dar en un plazo de 50 días basándonos en los antecedentes de acuerdo a las recomendaciones de los autores, esto implicando que estas larvas en procesos de biodegradación de dichos polímeros sobre la dieta sobreviven antes de convertirse en pupa, lo cual cada semana se va observar la biodegradación de los poliuretanos y diario se hará la limpieza de las heces y larvas que mueran en el proceso esto evitando que su alimentación o dieta se base en los poliuretanos.

Segunda etapa: Crecimiento y biodegradación de los poliuretanos.

- Para el desarrollo de ambas especies de larvas el clima tiene que estar basado en los antecedentes y de acuerdo al ciclo de vida apropiada de las larvas.
- Ahí es donde se pondrá a dieta con el poliuretano y se irá evaluando en la primera semana qué reacción tiene.
- Todo este dato será anotado en la ficha de observación.

Tercera etapa: Unidad de análisis

- Luego se hará el pesado de las larvas de cada envase sacando un promedio por cada uno de ambas especies.
- Se conocerá la cantidad de larvas que murieron por la dieta estricta de cada larva o especie en general.

3.4. TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

En el procesamiento de los datos del proyecto de investigación se utilizó Microsoft Excel como herramienta para el almacenamiento y organización de la información recolectada. Este software resultó fundamental para la elaboración de tablas de resultados y gráficos, para lo cual se diseñó un formato de registro que incluyó variables como peso, tamaño, temperatura, humedad, consumo inicial y consumo final.

Para el análisis estadístico de los datos se emplearon los programas IBM SPSS y/o Minitab, mediante los cuales se aplicaron técnicas estadísticas orientadas a determinar la existencia de diferencias significativas entre ambos grupos de estudio. Asimismo, se calcularon medidas de tendencia central, como la media y la moda, así como medidas de dispersión, con el fin de caracterizar el comportamiento de las variables analizadas.

De igual manera, se utilizaron los programas QGIS y ArcGIS para la elaboración de mapas de ubicación del área de estudio, empleando coordenadas UTM. Para la redacción, descripción e interpretación de los resultados se hizo uso del software Microsoft Word, mientras que Microsoft PowerPoint se empleó para la elaboración de la presentación del trabajo de investigación.

Para el análisis e interpretación de la información obtenida se aplicó la técnica hermenéutica, cuyo origen etimológico proviene del término griego hermenéuein, que significa interpretar, aclarar o esclarecer. Esta técnica resultó de utilidad para otorgar sentido a los resultados obtenidos y apoyar la interpretación de los datos estadísticos generados durante la investigación.

CAPITULO IV

RESULTADOS

4.1. PROCESAMIENTO DE DATOS

El presente capítulo expone los resultados obtenidos en la investigación titulada “Comparación de la eficiencia biodegradativa de las larvas *Zophobas morio* y *Tenebrio molitor* en los residuos de poliuretano en el distrito de Pillco Marca – Huánuco – 2025”. El periodo experimental tuvo una duración de 50 días, comprendido entre el 16 de octubre de 2025 y el 04 de diciembre de 2025, evaluándose el comportamiento de ambas especies frente a tres tipos de residuo: salvado, esponja de lavavajillas (poliuretano flexible) y almohada memory foam (poliuretano flexible viscoelástico).

Para el procesado del nivel de consumo de residuos de poliuretano de la larva *Zophobas morio* se hizo un Excel de acuerdo al Anexo 21 para poder sacar la parte estadística de los promedios de los dos poliuretanos y del tratamiento control.

Tabla 8

Datos relacionados al nivel de consumo de residuos de poliuretano y dieta control por la larva Zophobas morio bajo condiciones controladas (g)

Muestras	Salvado de Trigo	Esponja de Lavavajillas	Almohada Memory Foam
Frasco 1	1.175	0.099	0.03
Frasco 2	0.988	0.098	0.065
Frasco 3	0.6	0.12	0.12
Frasco 4	2.819	0.196	0.101
Frasco 5	1.2	0.045	0.032
Promedio	1.356	0.112	0.07

Nota. La Tabla 8 presenta los datos brutos correspondientes a la cuantificación del consumo de los sustratos (en gramos) por cada una de las cinco réplicas (frascos) de la especie *Zophobas morio* durante los 50 días de experimentación.

Tabla 9

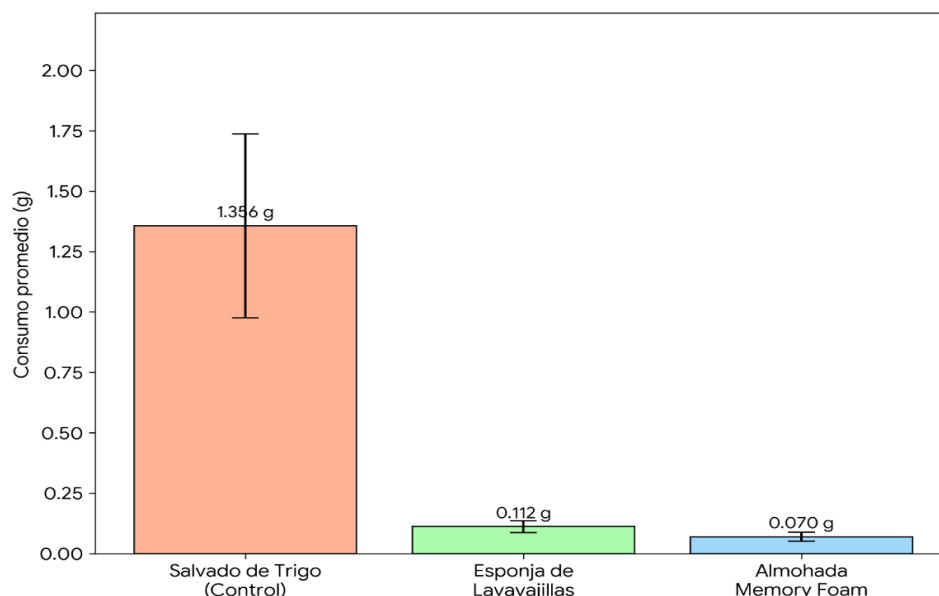
*Nivel de consumo de residuos de poliuretano por las larvas **Zophobas morio** en condiciones controladas*

Tratamiento	Promedio (g)	Error Estándar (SE)	Límite Inferior al 95%	Límite Superior al 95%
Salvado de Trigo (Control)	1.356	0.381	0.298	2.414
Esponja de Lavavajillas (Poliuretano Flexible)	0.112	0.024	0.044	0.180
Almohada Memory Foam (Poliuretano Viscoelástico)	0.070	0.018	0.019	0.120

Nota. Cálculos realizados sobre la base de n=5 réplicas por tratamiento. Al evaluar el consumo de sustrato bajo condiciones controladas, se observa que las larvas **Zophobas morio** consumieron en promedio 0.112 g $\pm$ 0.024 g de poliuretano flexible (Esponja de lavavajillas), superando al poliuretano viscoelástico (Memory Foam), cuyo consumo promedio fue de 0.070 g $\pm$ 0.018 g. En el grupo control (Salvado de Trigo), el consumo promedio esperado fue significativamente mayor (1.356 g). Los estrechos márgenes entre el límite inferior y superior al 95% en los poliuretanos indican una alta consistencia y poca dispersión en el nivel de consumo de las larvas para estos residuos durante los 50 días del ensayo.

Figura 13

*Nivel del consumo promedio por las larvas **Zophobas morio***



Nota. La gráfica de barras ilustra el consumo promedio en gramos de tres sustratos diferentes por parte de las larvas **Zophobas morio** durante un periodo de 50 días. A partir de su observación, se pueden extraer las siguientes conclusiones principales: 1) La diferencia más notable en la gráfica es la altura de la barra correspondiente al grupo control (Salvado de Trigo). Con un consumo promedio de 1.356 g, es evidente que las larvas prefieren y procesan con mucha mayor facilidad su alimento natural. Esto establece una línea base clara sobre la capacidad de ingesta habitual de la especie. 2) Al observar las dos barras de los tratamientos con plásticos, se confirma que las larvas **Zophobas morio** efectivamente consumieron el material, aunque en cantidades significativamente menores que el control. Entre los dos tipos de plástico, hubo una mayor degradación en la Esponja de Lavavajillas (0.112 g) en comparación con la Almohada Memory Foam (0.070 g). Esto sugiere que la estructura molecular o la densidad del poliuretano flexible convencional es ligeramente más susceptible

Tabla 10

*Datos relacionados al nivel de consumo de residuos de poliuretano y dieta control por la larva **Tenebrio molitor** bajo condiciones controladas (g)*

Muestras	Salvado de Trigo	Esponja de Lavavajillas	Almohada Memory Foam
Frasco 1	2.571	0.125	0.076
Frasco 2	0.879	0.113	0.08
Frasco 3	0.899	0.121	0.075
Frasco 4	1.284	0.122	0.229
Frasco 5	2.768	0.124	0.089
Promedio	1.68	0.121	0.11

Nota. La presente tabla expone los datos brutos correspondientes al consumo de sustratos (en gramos) registrado en las cinco réplicas experimentales de la especie **Tenebrio molitor** durante el periodo de 50 días.

Tabla 11

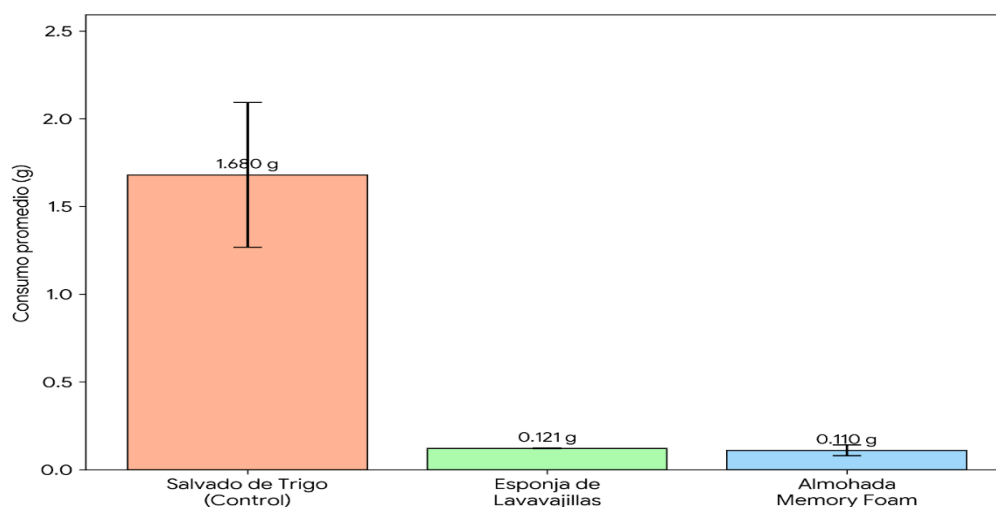
*Nivel de consumo de residuos de poliuretano por las larvas **Tenebrio molitor** en condiciones controladas*

Tratamiento	Promedio (g)	Error Estándar (SE)	Límite Inferior al 95%	Límite Superior al 95%
Salvado de Trigo (Control)	1.68	0.412	0.542	2.818
Esponja de Lavavajillas (Poliuretano Flexible)	0.121	0.002	0.115	0.127
Almohada Memory Foam (Poliuretano Viscoelástico)	0.11	0.03	0.027	0.193

Nota. Cálculos realizados sobre la base de n=5 réplicas por tratamiento. Al evaluar el consumo de sustrato bajo condiciones controladas, se observa que las larvas **Tenebrio molitor** consumieron en promedio 0.121 g $\pm$ 0.002 g de poliuretano flexible (Esponja de lavavajillas), superando al poliuretano viscoelástico (Memory Foam), cuyo consumo promedio fue de 0.110 g $\pm$ 0.030 g. En el grupo control (Salvado de Trigo), el consumo promedio esperado fue significativamente mayor (1.680 g). Los márgenes entre el límite inferior y superior al 95% en los poliuretanos indican un nivel de consumo consistente, destacando una dispersión excepcionalmente baja y un comportamiento altamente predecible en el caso de la esponja de lavavajillas durante los 50 días del ensayo.

Figura 14

*Nivel de consumo promedio por las larvas **Tenebrio molitor***



Nota. La representación gráfica corrobora la eficiencia biodegradativa de las larvas **Tenebrio molitor** sobre los poliuretanos, exhibiendo un consumo constante y ligeramente superior en las espumas flexibles convencionales en comparación con las viscoelásticas, manteniéndose ambos niveles muy por debajo del volumen de ingesta de la dieta base natural.

Tabla 12

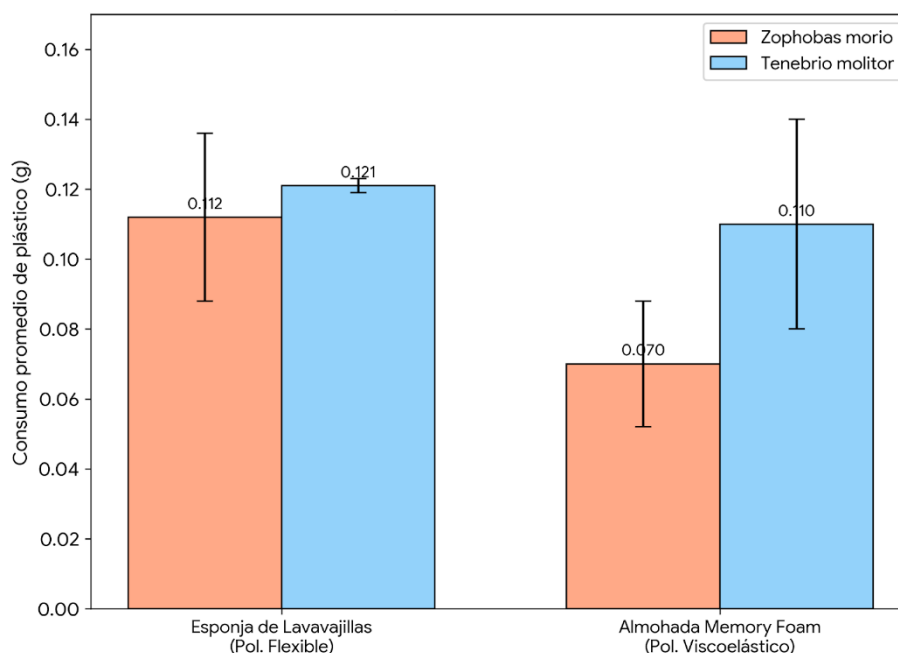
*Comparación de la eficiencia biodegradativa en residuos de poliuretano entre **Zophobas morio** y **Tenebrio molitor***

Tratamiento de Poliuretano	Especie	Consumo Promedio (g)	Error Estándar (SE)
Esponja de Lavavajillas (Poliuretano Flexible)	<i>Zophobas morio</i>	0.112	± 0.024
	<i>Tenebrio molitor</i>	0.121	± 0.002
Almohada Memory Foam (Poliuretano Viscoelástico)	<i>Zophobas morio</i>	0.07	± 0.018
	<i>Tenebrio molitor</i>	0.11	± 0.030

Nota. En el tratamiento con Esponja de Lavavajillas, ambas especies presentaron tasas de consumo cercanas. Sin embargo, **Tenebrio molitor** registró un promedio superior (0.121 g) frente a **Zophobas morio** (0.112 g), estableciendo una diferencia neta de 0.009 g a favor de la primera. Destaca notablemente el margen de error estándar de *Tenebrio molitor* (± 0.002), el cual refleja una variabilidad estadística casi nula entre sus réplicas, indicando una alta homogeneidad en la capacidad de ingesta de este grupo. En el tratamiento con Almohada Memory Foam, la diferencia en la eficiencia biodegradativa se amplía significativamente. **Tenebrio molitor** consumió en promedio 0.110 g, superando por 0.040 g a **Zophobas morio**, cuyo consumo se limitó a 0.070 g. Aunque **Tenebrio molitor** presentó un mayor error estándar (± 0.030) en este sustrato en comparación con la esponja, su ingesta mínima esperada sigue siendo estadísticamente superior o igual al máximo alcanzado por **Zophobas morio**.

Figura 15

Comparación de degradación de poliuretanos entre especies



Nota. La figura ilustra el comportamiento de consumo de ambas larvas frente a los polímeros evaluados, facilitando la identificación de patrones de rendimiento y estabilidad biológica. Visualmente, las barras correspondientes a ***Tenebrio molitor*** (color azul) se posicionan por encima de las barras de ***Zophobas morio*** (color naranja) en ambos tipos de poliuretano. Esto evidencia de manera clara y directa que ***Tenebrio molitor*** posee una mayor capacidad general para procesar y consumir estos plásticos bajo las condiciones del ensayo. Al observar el primer par de barras (Esponja de Lavavajillas), se aprecia que las alturas son visualmente competitivas. Sin embargo, en el segundo par de barras (Almohada Memory Foam), se visualiza un desnivel pronunciado; la barra de ***Zophobas morio*** decae considerablemente, mientras que la de ***Tenebrio molitor*** mantiene un nivel cercano al registrado con la esponja. Esto sugiere que el poliuretano viscoelástico representa una barrera de degradación mucho mayor para ***Zophobas morio*** que para ***Tenebrio molitor***. Las líneas de error sobre las barras corroboran gráficamente la estabilidad del proceso. La barra de error prácticamente invisible en el tratamiento de esponja para ***Tenebrio molitor*** demuestra un comportamiento alimenticio sumamente uniforme en toda la muestra poblacional, un indicador clave de confiabilidad en el uso de esta especie para procesos de biodegradación a escala.

Tabla 13

*Datos brutos de la variación de peso y producción de excretas de la larva **Zophobas morio** por unidad experimental*

Muestras	Salvado de Trigo (Control)	Excreta (g)	Esponja de Lavavajillas	Excreta (g)	Almohada Memory Foam	Excreta (g)
	Var. Peso (g)		Var. Peso (g)		Var. Peso (g)	
Frasco 1	0.001	0.412	0.009	0.108	0.011	0.192
Frasco 2	-0.004	0.851	0.009	0.113	0.012	0.138
Frasco 3	0.034	0.09	0.009	0.09	0.006	0.159
Frasco 4	0.012	0.213	0.007	0.087	0.044	0.185
Frasco 5	0.008	0.123	0.006	0.04	0.023	0.146
Promedio	0.01	0.338	0.008	0.088	0.019	0.164

Nota. Los datos brutos de la Tabla 13 revelan que la especie **Zophobas morio** logró mantener una variación de peso positiva en la gran mayoría de sus réplicas, independientemente de la dieta suministrada. Si bien la producción de excretas fue mayor en el grupo control (promedio de 0.338 g), las larvas sometidas a dietas exclusivas de plástico lograron mantener un ritmo de evacuación constante (0.088 g en esponja y 0.164 g en Memory Foam). Estos resultados primarios demuestran una notable resiliencia fisiológica de la especie, comprobando su capacidad para ingerir, transitar y evacuar el polímero sintético sin experimentar una pérdida neta de peso poblacional.

Tabla 14

*Datos brutos de la variación de peso y producción de excretas de la larva **Tenebrio molitor** por unidad experimental*

Muestras	Salvado de Trigo (Control)	Excreta (g)	Esponja de Lavavajillas	Excreta (g)	Almohada Memory Foam	Excreta (g)
	Var. Peso (g)		Var. Peso (g)		Var. Peso (g)	
Frasco 1	0.015	2.101	-0.04	0.024	-0.02	0.015
Frasco 2	0.006	2.435	-0.007	0.033	-0.027	0.026
Frasco 3	0.001	1.929	-0.002	0.02	-0.019	0.034
Frasco 4	-0.001	1.998	-0.012	0.038	-0.026	0.025
Frasco 5	0.013	1.744	-0.012	0.04	-0.033	0.031
Promedio	0.007	2.041	-0.015	0.031	-0.025	0.026

Nota. Los resultados primarios de la Tabla 14 evidencian un impacto fisiológico severo en la especie **Tenebrio molitor** al ser expuesta a los polímeros sintéticos. Mientras que en su dieta natural (control) presentó un balance de peso positivo y un alto volumen de excretas (promedio de 2.041 g), el 100% de las réplicas sometidas a ambas densidades de poliuretano registraron una variación de peso negativa. Esta sistemática pérdida de peso, combinada con una caída drástica en la producción de excretas (0.031 g y 0.026 g en promedio), indica que el consumo de este plástico genera una fuerte retención en el tracto digestivo de la larva, desencadenando un rápido estado de inanición y estrés metabólico.

Tabla 15

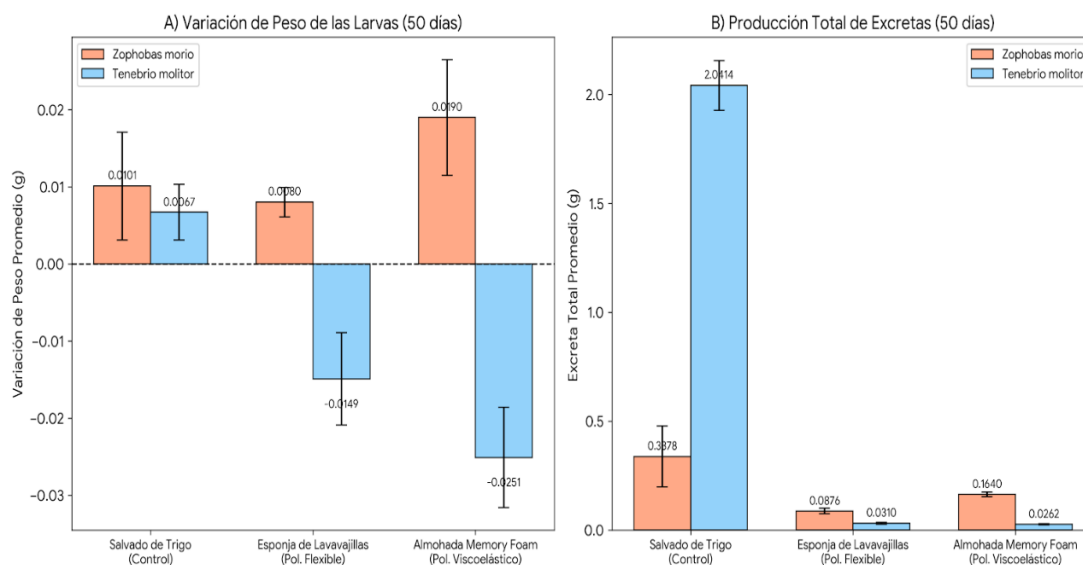
*Variación en el peso y producción de excretas de las larvas **Zophobas morio** y **Tenebrio molitor** durante el proceso de biodegradación del poliuretano*

Tratamiento	Especie	Variación de Peso Promedio (g)*	Error Estándar (Peso)	Excreta Total Promedio (g)**	Error Estándar (Excreta)
Salvado de Trigo (Control)	<i>Zophobas morio</i>	0.0101	± 0.0070	0.3378	± 0.1400
	<i>Tenebrio molitor</i>	0.0067	± 0.0036	2.0414	± 0.1143
	---	---	---	---	---
Esponja de Lavavajillas (Pol. Flexible)	<i>Zophobas morio</i>	0.008	± 0.0019	0.0876	± 0.0129
	<i>Tenebrio molitor</i>	-0.0149	± 0.0060	0.031	± 0.0039
	---	---	---	---	---
Almohada Memory Foam (Pol. Viscoelástico)	<i>Zophobas morio</i>	0.019	± 0.0075	0.164	± 0.0106
	<i>Tenebrio molitor</i>	-0.0251	± 0.0065	0.0262	± 0.0032
	---	---	---	---	---

Nota. El análisis de la variación de peso y la producción de excretas evidencia una divergencia metabólica significativa entre ambas especies al ser sometidas a dietas exclusivas de poliuretano. En respuesta al Poliuretano Flexible (Esponja de lavavajillas) se observó un contraste fisiológico claro: ***Tenebrio molitor*** experimentó una pérdida neta de peso corporal (-0.0149 g), acompañada de una mínima evacuación poblacional de excretas (0.0310 g). Por el contrario, ***Zophobas morio*** logró mantener un balance de peso positivo (+0.0080 g) y registró un volumen de excreción casi tres veces mayor (0.0876 g). En respuesta al Poliuretano Viscoelástico (Memory Foam): ***Tenebrio molitor*** registró la pérdida de peso más severa del ensayo (-0.0251 g) y la menor tasa de excreción (0.0262 g). En contraste, ***Zophobas morio*** conservó su estabilidad fisiológica, reportando un incremento de peso (+0.0190 g) y una excreción poblacional de 0.1640 g. Con la Dieta Control (Salvado de Trigo): bajo condiciones de alimentación natural, el comportamiento difiere: ambas especies logran mantener un crecimiento positivo, pero ***Tenebrio molitor*** genera un volumen de excretas significativamente mayor (2.0414 g) frente a ***Zophobas morio*** (0.3378 g).

Figura 16

Variación de peso y producción de excretas según especie



Nota. La figura expone de manera comparativa la variación neta de peso (Panel A) y la tasa de evacuación poblacional (Panel B) de las larvas frente a las diferentes dietas suministradas durante 50 días. A partir de su análisis visual, se identifican los siguientes patrones: Panel A (Variación de Peso): Se observa una clara división en la respuesta biológica frente al estrés de los polímeros. Mientras las barras de *Zophobas morio* (color naranja) se mantienen consistentes en el rango positivo (crecimiento de masa) para todos los tratamientos, las barras de *Tenebrio molitor* (color azul) presentan una inversión drástica hacia valores negativos al consumir plásticos. La gráfica acentúa visualmente que la pérdida de peso de *Tenebrio molitor* es severa tanto en poliuretano flexible (-0.0149 g) como en el viscoelástico (-0.0251 g). Por otro lado, en el Panel B (Producción de Excretas), el gráfico revela la asimetría en el procesamiento digestivo. En la dieta control, la barra azul (Tenebrio) domina marcadamente el volumen de excreción (2.0414 g). Sin embargo, en las dietas de poliuretano, se produce un colapso en su nivel de evacuación, observándose barras casi imperceptibles (0.0310 g y 0.0262 g). Por el contrario, las barras de *Zophobas morio* en los sustratos plásticos demuestran un volumen de evacuación continuo y significativamente superior, respaldando su capacidad para sostener el flujo del tracto digestivo.

Tabla 16

*Datos brutos de la variación de longitud promedio de la larva **Zophobas morio** por unidad experimental (cm)*

Muestras	Salvado de Trigo (Control)	Esponja de Lavavajillas	Almohada Memory Foam
Frasco 1	0.3	0.8	0.5
Frasco 2	0.5	0.7	0.45
Frasco 3	0.8	0.65	0.4
Frasco 4	0.75	0.7	0.8
Frasco 5	0.7	0.75	0.95
Promedio	0.61	0.72	0.62

Nota. Los datos brutos detallados en esta tabla confirman que la especie **Zophobas morio** experimentó un crecimiento longitudinal positivo en el 100% de las réplicas evaluadas, sin importar la dieta suministrada. Destaca el crecimiento sostenido en las larvas expuestas a la esponja de lavavajillas (Poliuretano Flexible), donde los niveles de estiramiento por frasco (entre 0.650 cm y 0.800 cm) demostraron ser sumamente consistentes e incluso ligeramente superiores al promedio del grupo control (0.610 cm), evidenciando que el tránsito de este material por el tracto digestivo no inhibe el desarrollo morfológico de esta especie.

Tabla 17

*Datos brutos de la variación de longitud promedio de la larva **Tenebrio molitor** por unidad experimental (cm)*

Muestras	Salvado de Trigo (Control)	Esponja de Lavavajillas	Almohada Memory Foam
Frasco 1	0.55	0.85	0.55
Frasco 2	0.5	0.85	0.55
Frasco 3	0.85	0.75	0.6
Frasco 4	0.9	0.9	0.45
Frasco 5	1.2	0.6	0.3
Promedio	0.8	0.79	0.49

Nota. Valores obtenidos a partir de la diferencia matemática entre el tamaño final e inicial de los especímenes por cada réplica (n = 5 frascos por tratamiento) durante un periodo de exposición de 50 días. Los promedios reflejan un incremento longitudinal de 0.800 cm para el grupo control, 0.790 cm para el poliuretano flexible y 0.490 cm para el poliuretano viscoelástico.

Tabla 18

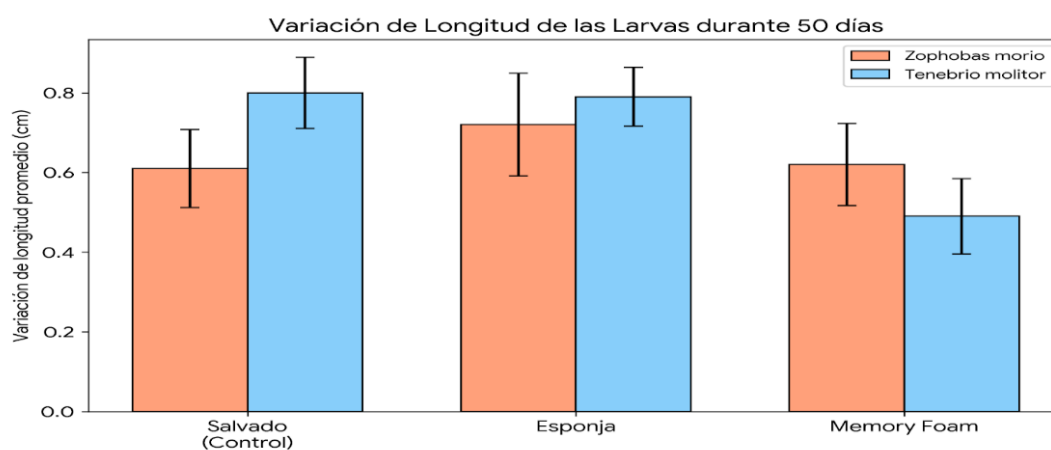
*Variación en la longitud de las larvas **Zophobas morio** y **Tenebrio molitor** durante el proceso de biodegradación del poliuretano*

Tratamiento	Especie	Promedio (cm)	Error Estándar	Límite Inf. 95%	Límite Sup. 95%
Salvado de Trigo (Control)	Z. morio	0.61	0.098	0.388	0.832
	T. molitor	0.80	0.089	0.598	1.002
Esponja de Lavavajillas	Z. morio	0.72	0.129	0.428	1.012
	T. molitor	0.79	0.074	0.623	0.957
Almohada Memory Foam	Z. morio	0.62	0.103	0.387	0.853
	T. molitor	0.49	0.095	0.276	0.704

Nota. A diferencia del peso corporal, todas las larvas registraron un crecimiento longitudinal positivo durante el experimento. En el poliuretano flexible (Esponja), ambas especies alcanzaron un estiramiento promedio superior a los 0.70 cm, compitiendo estrechamente con el crecimiento obtenido en sus dietas de control. Sin embargo, en el sustrato más complejo (Memory Foam), el crecimiento longitudinal de **Tenebrio molitor** se vio drásticamente mermado (0.49 cm), correlacionándose directamente con la severa pérdida de peso experimentada por este mismo grupo.

Figura 17

Variación de la longitud de las larvas según especie



Nota. La figura expone que en todos los casos se ha dado una variación positiva de la longitud de las larvas.

Tabla 19*Prueba de normalidad de los datos*

Tratamiento	Shapiro-Wilk Estadístico	gl	Sig.
<i>Zophobas morio</i> - Esponja de Lavavajillas	0.933	5	0.614
<i>Zophobas morio</i> - Almohada Memory Foam	0.896	5	0.386
<i>Tenebrio molitor</i> - Esponja de Lavavajillas	0.841	5	0.168
<i>Tenebrio molitor</i> - Almohada Memory Foam	0.622	5	0.001

Nota. El análisis de normalidad se realizó mediante la prueba de Shapiro-Wilk. El criterio de decisión establece que si el valor de significancia (Sig.) es mayor a 0.05, los datos provienen de una distribución normal. Para los grupos de ***Zophobas morio*** en Esponja de Lavavajillas (Sig. = 0.614), ***Zophobas morio*** en Almohada Memory Foam (Sig. = 0.386) y ***Tenebrio molitor*** en Esponja de Lavavajillas (Sig. = 0.168), los valores de significancia son mayores al nivel alfa de 0.05. Por consiguiente, se acepta la hipótesis nula, asumiendo que los datos de estos tres grupos siguen una distribución normal. Para el grupo de ***Tenebrio molitor*** en el tratamiento con Almohada Memory Foam, el valor de significancia obtenido es 0.001 (Sig. < 0.05). Este resultado determina el rechazo de la hipótesis nula, concluyendo que la distribución de los datos en este grupo experimental no es normal, debido a la presencia de una alta dispersión o valores atípicos en las réplicas. Dado que uno de los grupos de estudio incumple el supuesto de normalidad, se determina que el conjunto de datos no es apto para pruebas paramétricas. En consecuencia, el contraste de la hipótesis general para comparar la eficiencia biodegradativa entre ambas especies deberá realizarse mediante pruebas no paramétricas, como la prueba U de Mann-Whitney.

4.2. CONTRASTACIÓN Y PRUEBA DE HIPÓTESIS

Hipótesis

H₀: No existe una diferencia significativa en la eficiencia biodegradativa entre las larvas ***Zophobas morio*** y ***Tenebrio molitor*** en los residuos de poliuretano en el distrito de Pillco Marca – Huánuco – 2025.

H₁: Existe una diferencia significativa en la eficiencia biodegradativa entre las larvas ***Zophobas morio*** y ***Tenebrio molitor*** en los residuos de poliuretano en el distrito de Pillco Marca – Huánuco – 2025.

Prueba estadística: U de Mann-Whitney

Nivel de significancia: 5%

Tabla 20

Prueba de contrastación de hipótesis con U de Mann-Whitney

	Consumo de Poliuretano (g)
U de Mann-Whitney	31
W de Wilcoxon	86
Z	-1.436
Sig. asintótica (bilateral)	0.151

Nota. Para dar respuesta al problema general de la investigación y contrastar la hipótesis planteada, se aplicó la prueba estadística no paramétrica U de Mann-Whitney para muestras independientes. El objetivo fue determinar si existe una diferencia estadísticamente significativa en la eficiencia biodegradativa (medida a través del consumo total de residuos de poliuretano en gramos) entre las especies ***Zophobas morio*** y ***Tenebrio molitor***.

Habiéndose obtenido un nivel de significancia asintótica (bilateral) o p-valor, igual a **0.151**, se concluye, con un nivel de confianza del 95%, que no existe una diferencia estadísticamente significativa en la eficiencia biodegradativa de residuos de poliuretano entre las larvas ***Zophobas morio*** y ***Tenebrio molitor*** bajo las condiciones controladas del estudio en el distrito de Pillco Marca (2025). A pesar de las ligeras variaciones en los promedios de consumo, el comportamiento de ingesta de polímeros de ambas especies es estadísticamente comparable.

CAPITULO V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

- Según el objetivo principal de comparar la eficiencia entre ambas especies en el distrito de Pillco Marca, los resultados revelan que la robustez física de una larva no siempre determina de forma lineal su comportamiento de ingesta. Aunque *Zophobas morio* es físicamente de mayor tamaño, el poliuretano viscoelástico (Memory Foam) representó una barrera de masticación mecánica más compleja que el *Tenebrio molitor*. Mientras que *Zophobas morio* experimentó una disminución en su capacidad de consumo al pasar de la espuma flexible (0.112 g) a la viscoelástica (0.070 g), *Tenebrio molitor* demostró una baja sensibilidad a la variación de densidad del polímero, manteniendo una tasa de ingesta constante y uniforme de 0.121 g en la esponja y 0.110 g en el Memory Foam.

Al contrastar estos resultados con el estudio de Valladolid (2023), quien requirió una cantidad de larvas como 100 especímenes de *Tenebrio molitor* para degradar 0.123 g de poliestireno expandido en 29 días, en mi investigación aporte un dato de alto valor biotecnológico: con apenas 35 larvas de *Tenebrio molitor* se alcanzó un consumo de 0.121 g de poliuretano flexible al término de los 50 días. Esto demuestra que, en términos de rendimiento individual y a pesar de que el poliuretano posee una estructura molecular termoestable mucho más compleja y recalcitrante que la del poliestireno, las larvas presentaron una eficiencia de masticación y fragmentación física proporcionalmente superior.

Es fundamental recalcar que esta constante actividad alimenticia está directamente ligada a las condiciones microclimáticas templadas del distrito de Pillco Marca (Huánuco). La temperatura ambiental actuó como el motor termodinámico del metabolismo de las larvas; al mantenerse estable en el laboratorio, permitió que las enzimas digestivas y el vigor mecánico de *Tenebrio molitor* operaran de manera óptima, superando los consumos reportados para polímeros de menor densidad.

En resumen, la eficiencia de un agente biorremediador debe evaluarse bajo un enfoque integral que distinga la capacidad mecánica de la viabilidad

fisiológica. En términos de **fragmentación y masticación mecánica**, *Tenebrio molitor* se consolida como un agente altamente constante y predecible, con una variabilidad estadística casi nula (± 0.002). Sin embargo, **esta alta tasa de ingesta contrasta drásticamente con su limitación metabólica interna**; la acumulación del poliuretano generó un proceso patológico de retención digestiva, obligando a la larva a un catabolismo lipídico de emergencia que derivó en una severa pérdida de peso corporal (-0.0251 g). Mientras *Tenebrio molitor* destaca como un extraordinario triturador físico inicial del polímero, *Zophobas morio* se posiciona como el biorreactor biológicamente viable y eficiente a largo plazo, al ser capaz de procesar, transitar y evacuar el plástico conservando su estabilidad biométrica y supervivencia.

- Según el objetivo específico de evaluar el nivel de consumo de poliuretano por las larvas ***Zophobas morio***, los resultados demuestran una capacidad de biodegradación condicionada por la densidad y estructura del polímero. Se registró una brecha significativa entre el consumo del sustrato de control (1.356 g) y los plásticos, confirmando que el poliuretano es procesado bajo condiciones experimentales y no como fuente nutricional primaria.

Entre los residuos sintéticos, el poliuretano flexible registró un consumo de 0.112 g, superando en un 60% al poliuretano viscoelástico (0.070 g). Esta diferencia indica que la alta densidad del memory foam dificulta la acción mecánica de las mandíbulas del insecto. No obstante, la baja dispersión de los datos (error estándar de 0.024 g y 0.018 g) asegura que el nivel de degradación es constante y predecible.

Al contrastar estos hallazgos con Arce (2023) —quien evaluó la degradación de PET (tereftalato de polietileno) se identifica una divergencia técnica basada en la morfología del material. Mientras el PET es un termoplástico sólido de alta densidad, las espumas de poliuretano presentan una matriz celular porosa que ofrece menor resistencia mecánica.

En conclusión, la eficiencia de la biodegradación en ***Zophobas morio*** no depende solo de su capacidad biológica, sino de la arquitectura del polímero.

Se ratifica que estas larvas son agentes óptimos para la biodegradación, mostrando un rendimiento superior en materiales de densidad reducida, lo que facilita tanto la fragmentación mecánica como la degradación enzimática del residuo plástico.

- Según el objetivo específico de evaluar el nivel de consumo de poliuretano por las larvas ***Tenebrio molitor***, los resultados muestran un comportamiento biológico eficiente y altamente consistente durante 50 días. Técnicamente, el poliuretano flexible registró un consumo promedio de 0.121 g, con un error estándar mínimo de 0.002 g, mientras que el viscoelástico alcanzó los 0.110 g. Esta reducida brecha de solo el 10% entre ambos materiales sugiere que la especie es poco sensible a las variaciones de densidad del polímero, manteniendo un ritmo de masticación y metabolismo uniforme.

Al contrastar estos datos con Basualdo y Gómez (2022) quienes reportaron una degradación mínima del 0.41% en PET se evidencia que la densidad del poliuretano no es un factor limitante tan crítico como la estructura cristalina de otros plásticos. Mientras que materiales como el PET ofrecen una resistencia casi total, el aparato digestivo de *Tenebrio molitor* logra procesar las espumas de poliuretano de manera equilibrada.

En conclusión, la estabilidad del consumo y la baja dispersión de los datos ratifican a ***Tenebrio molitor*** como un agente biotecnológico óptimo para la gestión de residuos de poliuretano, demostrando una capacidad de biodegradación predecible y superior a la observada en polímeros sólidos de alta densidad.

- Según el objetivo específico, de analizar la variación en el peso y longitud de ***Zophobas morio*** y ***Tenebrio molitor*** durante la biodegradación de poliuretano, se identificó una divergencia metabólica crítica. Mientras que ***Tenebrio molitor*** sufrió una pérdida severa de peso (hasta -0.0251 g), ***Zophobas morio*** mantuvo un balance positivo con un incremento de 0.0190 g y una producción de excretas seis veces mayor (0.1640 g). Esto ratifica que ***Zophobas morio*** posee una resiliencia adaptativa superior para procesar el polímero sin comprometer su supervivencia.

Respecto a la longitud, todas las larvas crecieron, especialmente en poliuretano flexible – Esponja de Lavavajillas (aprox. 0.75 cm). Sin embargo, el poliuretano viscoelástico (Almohada Memory Foam) reveló un dato clave, ***Tenebrio molitor*** creció solo 0.49 cm, evidenciando un estiramiento físico con pérdida de masa interna. En contraste, ***Zophobas morio*** alcanzó los 0.62 cm, demostrando un metabolismo capaz de procesar polímeros de alta densidad sin frenar su desarrollo.

Al contrastar con Condezo (2022) quien reportó aumentos de peso significativos en poliestireno y pañales se evidencia que el poliuretano impone un estrés fisiológico distintivo.

En conclusión, el poliuretano flexible permitió un desarrollo longitudinal constante en ambas especies, pero el viscoelástico actuó como un limitante crítico para ***Tenebrio molitor***, consolidando a ***Zophobas morio*** como el agente biológico más eficiente para la degradación de estos materiales densos.

CONCLUSIONES

- Se concluye que no existe una diferencia estadísticamente significativa en la eficiencia biodegradativa, medida a través de la tasa de ingesta de residuos de poliuretano, entre las larvas ***Zophobas morio*** y ***Tenebrio molitor*** ($p = 0.151$). Ambas especies demostraron poseer la capacidad biológica para masticar e ingerir polímeros sintéticos bajo condiciones controladas; sin embargo, al integrar la evaluación fisiológica, se determina que la especie ***Zophobas morio*** resulta ser un agente biológico más viable para el tratamiento de estos residuos a largo plazo, ya que logra procesar y evacuar el material sin comprometer críticamente su peso, a diferencia de ***Tenebrio molitor***, cuya ingesta derivó en un estrés metabólico severo.
- Al evaluar el nivel de consumo en la especie ***Zophobas morio***, se determinó que estas larvas poseen una mayor eficiencia degradativa sobre el poliuretano flexible frente al viscoelástico. Durante el periodo de 50 días, registraron un consumo promedio de 0.112 g en las esponjas de lavavajillas y de 0.070 g en la espuma Memory Foam. Estos volúmenes representan un porcentaje marginal de ingesta en comparación con su dieta natural de salvado de trigo (1.356 g), evidenciando que el plástico funciona como un sustrato de supervivencia y no como una fuente nutricional óptima.
- La evaluación en la especie ***Tenebrio molitor*** evidenció tasas de consumo de poliuretano ligeramente superiores en términos absolutos, alcanzando un promedio de 0.121 g para el poliuretano flexible (esponja) y 0.110 g para el poliuretano viscoelástico (Memory Foam). Un hallazgo destacable en esta especie fue su comportamiento de ingesta frente al poliuretano flexible, el cual presentó una dispersión estadística casi nula ($SE = \pm 0.002$), lo que demuestra un patrón de consumo altamente constante y predecible bajo condiciones de estrés alimentario.
- El análisis de la variación de peso, longitud y producción de excretas reveló impactos fisiológicos fuertemente diferenciados entre ambas especies al consumir dietas exclusivas de plástico. Por un lado, ***Tenebrio molitor*** experimentó una pérdida neta de peso corporal (hasta -0.0251 g en Memory Foam) acompañada de una retención severa del polímero en el tracto

digestivo, evidenciada por una producción mínima de excretas poblacionales (0.0262 g). Por el contrario, ***Zophobas morio*** demostró una resiliencia metabólica superior, logrando mantener un balance de peso positivo (hasta +0.0190 g) y sosteniendo un volumen de evacuación significativamente mayor (0.1640 g), lo que le permite transitar el plástico por su sistema digestivo evitando la inanición observada en la otra especie.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda a futuros investigadores explorar la suplementación nutricional en la dieta de las larvas, integrando fuentes de nitrógeno o carbohidratos de fácil asimilación (como el salvado de trigo o residuos orgánicos vegetales) junto con el poliuretano. Dado que en este estudio se determinó que el poliuretano por sí solo no permite el desarrollo biológico óptimo, la combinación de sustratos podría no solo mejorar la salud de los especímenes, sino también acelerar las tasas de degradación al mantener el metabolismo de las larvas en niveles más elevados.
- Es recomendable profundizar en el análisis químico del frass o excretas producidas tras la ingestión del poliuretano. Se sugiere realizar pruebas de cromatografía de gases o espectroscopía infrarroja (FTIR) para determinar el grado de despolimerización y asegurar que los residuos finales no contengan microplásticos persistentes o compuestos tóxicos lixiviables, garantizando así que este subproducto pueda ser reintegrado al ambiente o utilizado en la elaboración de abonos orgánicos de forma segura.
- Se sugiere ampliar el periodo de observación y experimentar con diferentes densidades de poliuretano y estados del material (como residuos pretratados mediante exposición UV o trituración mecánica). Considerando que la estructura física de la esponja de lavavajillas facilitó la degradación en comparación con la almohada memory foam, un pretratamiento físico podría aumentar la superficie de contacto para las enzimas de las larvas, optimizando la eficiencia de ambas especies en tiempos más cortos.
- Se recomienda a las instituciones locales y autoridades ambientales del distrito de Pillco Marca y la provincia de Huánuco, considerar la entomobiorremediación como una alternativa viable de bajo costo para el tratamiento de residuos plásticos especiales en origen. La implementación de proyectos piloto utilizando criaderos controlados de *Tenebrio molitor* o *Zophobas morio* podría reducir la carga de plásticos en los botaderos municipales, transformando un residuo de difícil manejo en un material orgánico reducido.

- Finalmente, se recomienda realizar estudios microbiológicos específicos en la región para identificar las cepas bacterianas autóctonas presentes en el tracto digestivo de las larvas aclimatadas a Huánuco. El aislamiento y cultivo de estas bacterias podría permitir en el futuro la creación de inóculos enzimáticos industriales, lo que representaría un avance significativo en la ingeniería ambiental para la degradación sintética de polímeros sin necesidad de utilizar el organismo vivo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arce, A. (2023). *Biodegradación de Tereftalato de polietileno (PET) mediante el uso de larvas de **Zophobas morio** y **Galleria mellonella***. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/144724>.
- Aquae Fundación (2023). *El plástico, un importante impulsor del cambio climático*. <https://www.fundacionaquae.org/wiki/el-plastico-se-convertira-en-un-importante-impulsor-del-cambio-climatico/>.
- Arela, M. et al. (2020). *Biodegradación de polímeros de plástico por **Pseudomonas***. https://revistas.upeu.edu.pe/index.php/ri_ctd/article/view/1457.
- Aimplas (2020). *Biodegradabilidad anaeróbica*. <https://www.aimplas.es/laboratorio/biodegradabilidad-y-compostabilidad/biodegradabilidad-anaerobica/>.
- Álvarez, J. & Chávez, E. (2022) *Microplásticos en el Antropoceno: contaminación y efectos en el suelo*. <https://www.researchgate.net/publication/364039926>.
- Basualdo, M.& Gomez, S. (2022). *Aplicación de **Tenebrio molitor** para Biodegradar Mascarillas Quirúrgicas de Polipropileno, Guantes de Vinilo y Botellas PET*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/119800>.
- Bertocchini, F. (2022). *Los gusanos que degradan plástico en 40 minutos*. <https://theconversation.com/los-gusanos-que-degradan-plastico-en-40-minutos-171262>.
- Bustamante, B. (2012). *La degradación de los plásticos*. <https://publicaciones.eafit.edu.co/index.php/revista-universidad-eafit/article/view/1408>.
- Carrasquero, F. (2014). *Fundamentos de Polímeros*. https://www.researchgate.net/publication/262639386_FUNDAMENTOS_DE_POLIMEROS.
- Cardozo, M. (2020). *Biodegradación del poliestireno expandido por larvas de **Tenebrio molitor** I. (Coleoptera: Tenebrionidae), en condiciones de laboratorio*. <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/34873>.

- Campos, M. (2021). *Biodegradación de plásticos convencionales: Estrategias y perspectivas*. <http://hdl.handle.net/10835/13496>.
- Center for International Environmental Law. (2019). Plastic & Climate: The Hidden Costs of a Plastic Planet. Recuperado de <https://www.ciel.org/plasticandclimate/>.
- Condezo, V. (2022). *Eficiencia de las larvas **Tenebrio molitor** en la biodegradación de polímeros, Huánuco 2019*. <https://repositorio.udh.edu.pe/handle/20.500.14257/3782>.
- Cunguan, J., Rojas, L., Tatiana, M., Arcos, B., y Ortoz, C. (2023). *Biodegradation of plastic with **Tenebrio molitor** insect larvae as an interdisciplinary contribution to environmental biotechnology*. UNEMI. <https://ojs.unemi.edu.ec/index.php/cienciaunemi/article/view/1626>.
- Danso, D. et al. (2019). *Plásticos: Perspectivas Ambientales y Biotecnológicas sobre la Degradación Microbiana*. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC6752018/>.
- Escudero, L. (2011). *Determinación de la biodegradabilidad y toxicidad de materiales plásticos: aplicación de las normas UNE-EN-ISO 14852 y 11348-3*. <https://repositorio.upct.es/entities/publication/4303b157-af04-4f13-a183-3d2bad2930b2>.
- Escobar, Q., López, S., Garcia, J. (2024). ***Tenebrio molitor**: Una opción prometedora para la degradación de plásticos*. <https://avanceyperspectiva.cinvestav.mx/tenebrio-molitor-una-opcion-prometedora-para-la-degradacion-de-plasticos/>.
- Ecoembes (2023). *¿Cuánto tarda en degradarse el plástico?* <https://reducereutilizarecicla.org/cuanto-tarda-en-degradar-el-plastico/>.
- El Peruano (2021, mayo 15). Peruanos generamos 21 mil toneladas diarias de basura. <https://elperuano.pe/noticia/120825-peruanos-generamos-21-mil-toneladas-diarias-de-basura#:~:text=15%2F05%2F2021%20El%20Minam,los%2030%20millones%20de%20habitantes>.
- Francisco, M & Michel, K. (2021). *Manual del manejo de crianza de Zophobas*. https://www.researchgate.net/publication/353646612_MANUAL_DEL_MANEJO_DE_CRIANZA_DE_ZOPHOBAS.

- Folino, A. et al. (2023). *Evaluación de la biodegradabilidad de los bioplásticos por métodos estándar y de investigación: Tendencias actuales y problemas abiertos*.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S221334372300163X>.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (2002). *El cultivo protegido en clima Mediterráneo*.
https://www.google.com.pe/books/edition/El_Cultivo_Protegido_en_Clima_Mediterr%C3%A1/RZFbbvt-ossC?hl=es-419&gbpv=0.
- González, M. (1997). *Propiedades químicas y físicas de polímeros*.
<https://ruc.udc.es/dspace/handle/2183/9641>.
- Guerra, R. & Billmeyer, F. (2020). *Ciencia de los polímeros*.
<https://www.digitaliapublishing.com/a/103308/ciencia-de-los-polimeros>.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6.ª ed.). México: McGraw-Hill.
- Jiang, S., Su, T., Zhao, J., & Wang, Z. (2021). Biodegradation of Polystyrene by *Tenebrio molitor*, *Galleria mellonella*, and *Zophobas atratus* Larvae and Comparison of Their Degradation Effects. *Polymers*, 13(20), 3539. <https://doi.org/10.3390/polym13203539>.
- Lahoz, E. (2024). *Degradación del plástico: problemática y proyectos innovadores para acelerarla*. <https://dkv.es/corporativo/blog-360/medioambiente/contaminacion/degradacion-del-plastico>.
- Ling Salazar, J. T. (2023). *Comparación de la capacidad de biodegradación de plásticos por larvas de insectos de la familia Pyralidae y Tenebrionidae [Escuela Superior Politécnica del Litoral]*.
<http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/58385>.
- Lim, B. & Thian, E. (2021) *Biodegradación de polímeros en el manejo de desechos plásticos*.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969721069564>.
- Mayankkumar, L. & Ram, K. (2025). *Environmental and Health Concerns in Polyurethane*. <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/bk-2025-1507.ch002>.

- Martínez, L. (2023). *Estudio del microbioma intestinal de **Zophobas morio** (Coleóptera: Tenebrionidae) como aproximación al uso potencial para la biodegradación del poliestireno.* <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/85544>.
- Muñoz, N. et al. (2024). *Caracterización de todas las etapas de vida de **Tenebrio molitor** imaginando aplicaciones innovadoras para este insecto comestible.* <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666833524001102#bib0038>.
- Montgomery, D. C. (2019). *Design and Analysis of Experiments* (10th ed.). Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.
- Moruzzo, R. et al. (2021). *Lombriz de harina (Molitor tenebrio): Potencial y Desafíos para Promover la Economía Circular.* <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8468824/#B24-animals-11-02568>.
- Organización de las Naciones Unidad – ONU (2023). *Todo lo que necesitas saber sobre la contaminación por plásticos.* <https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/reportajes/todo-lo-que-necesitas-saber-sobre-la-contaminacion-por-plasticos>.
- Olivas, J. (2025). *Evaluación de la eficiencia degradativa de las larvas del **Zophobas morio** en la biodegradación del poliestireno, Huánuco, 2024. [Tesis de pregrado, Universidad de Huánuco]. Repositorio Institucional UDH.*
- Proiberia (2022). *De huevo a escarabajo. ¿Cómo es el ciclo de vida del **Tenebrio**?* <https://protiberia.com/ciclo-de-vida-del-tenebrio/>.
- Rico, M. & Gomis, A. (2012). *Tecnología de polímeros (procesado y propiedades).* https://books.google.co.ve/books?id=jxilUUn4_QAC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false.
- Rodríguez, H. (2023). *Estos gusanos comen plástico.* https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/estos-gusanos-comenplastico_15580.
- Rumbos, C. & Athanassiou, C. (2021). *The Superworm, **Zophobas morio** (Coleoptera:Tenebrionidae): A ‘Sleeping Giant’ en Fuentes de*

nutrientes.

https://www.researchgate.net/publication/350780866_The_Superworm_Zophobas_morio_ColeopteraTenebrionidae_A_27Sleeping_Giant_27_in_Nutrient_Sources.

Rivera, C. (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* [Universidad de Huánuco]. Repositorio Institucional - Universidad de Huánuco.

Sabtech Machine (2026). *Impacto ambiental de la producción de espuma de poliuretano y cómo mitigarlo*. <https://www.sabtechmachine.com/es/a-environmental-impact-of-pu-foam-production-and-how-to-mitigate-it.html>.

Sistema de Información para la Gestión de Residuos Sólidos – SIGERSOL (2024). *Reporte Sigersol 2024 – Pillco Marca*. <https://site2.minam.gob.pe/>.

Supo, J., & Zacarias, H. (2020). *Metodología de la Investigación Científica para las ciencias de la salud, las Ciencias Sociales y las Ingenierías I* N°2020-04179.

Schulte, R. (1996). *El manejo de **Zophobas morio** (coleoptera: tenebrionidae) en climas tropicales húmedos*. <https://revistas.iiap.gob.pe/index.php/foiaamazonica/article/view/321>.

Terrartropoda (2013). *Ficha gusano de la harina – **Tenebrio molitor***. <https://terrartropoda.wordpress.com/2013/08/11/ficha-gusano-de-la-harina-tenebrio-molitor/>.

Valencia, G. et al. (2019). *Polímeros: Generalidades y tendencias de investigación en Colombia*. <https://www.digitaliapublishing.com/a/60595/polimeros--generalidades-y-tendencias-de-investigacion-en-colombia>.

Vázquez, G. & Beltrán, R. (2004). *Pruebas normalizadas para la evaluación de la biodegradabilidad de sustancias químicas*. https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442004001000005.

- Valladolid, M. (2023). *Biodegradación del poliestireno expandido mediante el uso de la especie **Tenebrio molitor** (gusano de harina)*.
<https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/13018>.
- Waycott, B. (2022). *¿Pueden las bacterias que comen plástico ayudar con el problema de los plásticos en la pesca y la acuicultura?*
<https://www.globalseafood.org/advocate/pueden-las-bacterias-que-comen-plastico-ayudar-con-el-problema-de-los-plasticos-en-la-pesca-y-la-acuicultura/>.
- Zhang, X. et al. (2024). Degradación de materiales poliméricos en el medio ambiente y su impacto en la salud de los animales de experimentación.
<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11478708/>.

COMO CITAR ESTE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

- Falcon, H. (2026). Comparación de la eficiencia biodegradativa de las larvas *Zophobas morio* y *Tenebrio molitor* en los residuos de poliuretano en el distrito de Pillco Marca – Huánuco – 2025. [Tesis, Universidad de Huánuco]. Repositorio Institucional UDH.

ANEXOS

ANEXO 1

MATRIZ DE CONSISTENCIA

“COMPARACIÓN DE LA EFICIENCIA BIODEGRADATIVA DE LAS LARVAS *Zophobas morio* Y *Tenebrio molitor* EN LOS RESIDUOS DE POLIURETANO EN EL DISTRITO DE PILLCO MARCA – HUÁNUCO – 2025”

Problema General	Objetivo General	Hipótesis	Variables e indicadores	Metodología
¿Cuál es la diferencia en la eficiencia biodegradativa entre las larvas <i>Zophobas morio</i> y <i>Tenebrio molitor</i> en los residuos de poliuretano en el distrito de Pillco Marca - Huánuco - 2025?	Comparar la eficiencia biodegradativa de las larvas <i>Zophobas morio</i> y <i>Tenebrio molitor</i> en los residuos de poliuretano en el distrito de Pillco Marca – Huánuco - 2025.	Hipótesis nula: No existe una diferencia significativa en la eficiencia biodegradativa entre las larvas <i>Zophobas morio</i> y <i>Tenebrio molitor</i> en los residuos de poliuretano en el distrito de Pillco Marca - Huánuco – 2025. Hipótesis alternativa: Existe una diferencia significativa en la eficiencia biodegradativa entre las larvas	Variable de Calibración • Eficiencia Biodegradativa de las larvas <i>Zophobas morio</i> <i>Tenebrio molitor</i> Variable Evaluativa • Biodegradación de residuos de Poliuretano Parámetro Físico	Según el número de variables: Analítico Según intervención del investigador: Experimental Según el control de mediciones: Prospectivo Según el número de mediciones: Longitudinal Según el enfoque: Cuantitativo Según el nivel: Aplicativo El diseño tiene el siguiente esquema: Leyenda:
Problemas Específicos	Objetivos Específicos			

¿Qué nivel de consumo de residuos de poliuretano presentan las larvas Zophobas morio en condiciones controladas durante el experimento? ¿Qué nivel de consumo de residuos de poliuretano presentan las larvas Tenebrio molitor en condiciones similares? ¿Qué variación tiene en el peso y la longitud de las larvas Zophobas morio y Tenebrio molitor durante el proceso de biodegradación de residuos de poliuretano?	Evaluar el nivel de consumo de residuos de poliuretano por las larvas Zophobas morio en condiciones controladas. Evaluar el nivel de consumo de residuos de poliuretano por las larvas Tenebrio molitor en condiciones similares. Analizar la variación en el peso y longitud de las larvas Zophobas morio y Tenebrio molitor durante el proceso de biodegradación del poliuretano.	Zophobas morio y Tenebrio molitor en los residuos de poliuretano en el distrito de Pillco Marca - Huánuco – 2025.	- Temperatura - Humedad - Peso - Longitud	GE1: Grupo Experimental 1 (Población de Tenebrio molitor). GE2: Grupo Experimental 2 (Población de Zophobas morio). O1: Observación inicial o pre-test, correspondiente al registro base de las variables biométricas de las larvas y la determinación de la masa gravimétrica inicial del sustrato antes del proceso de exposición. O2: Observación final o post-test, correspondiente a la medición cuantitativa del nivel de consumo neto del sustrato polimérico, la variación biométrica final de los especímenes y la cuantificación de las excretas acumuladas al concluir el periodo experimental de 50 días. X1: Intervención en el Grupo 1, consistente en la exposición de Tenebrio molitor a las matrices de residuo de poliuretano. X2: Intervención en el Grupo 2, consistente en la exposición de Zophobas morio a las matrices de residuo de poliuretano. GE1: O1 – X1 – O2 GE2: O1 – X2 – O2 Dimensiones: Nivel de consumo de residuos. Población: El poliuretano. Muestra: Para la larva Tenebrio molitor y Zophobas morio se separó de acuerdo a los tratamientos Esponja de Lavavajillas Almohada (Memory Foam)
--	--	--	--	--

ANEXO 02

RESOLUCIÓN DE DESIGNACIÓN DE ASESOR

UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO

Facultad de Ingeniería

RESOLUCIÓN N° 0467-2025-D-FI-UDH

Huánuco, 19 de marzo de 2025

Visto, el Oficio N° 167-2025-C-PAIA-FI-UDH presentado por el Coordinador del Programa Académico de Ingeniería Ambiental y el Expediente N° 533329-0000000634, del Bach. **Henry Alcides FALCON BRAVO**, quien solicita Asesor de Tesis, para desarrollar el trabajo de investigación (Tesis).

CONSIDERANDO:

Que, de acuerdo a la Nueva Ley Universitaria 30220, Capítulo V, Art 45° inc. 45.2, es procedente su atención, y;

Que, según el Expediente N° 533329-0000000634, presentado por el (la) Bach. **Henry Alcides FALCON BRAVO**, quien solicita Asesor de Tesis, para desarrollar su trabajo de investigación (Tesis), el mismo que propone al Mg. Milton Edwin Morales Aquino, como Asesor de Tesis, y;

Que, según lo dispuesto en el Capítulo II, Art. 27° y 28° del Reglamento General de Grados y Títulos de la Universidad de Huánuco vigente, es procedente atender lo solicitado, y;

Estando a Las atribuciones conferidas al Decano de la Facultad de Ingeniería y con cargo a dar cuenta en el próximo Consejo de Facultad.

SE RESUELVE:

Artículo Primero.- DESIGNAR, como Asesor de Tesis del Bach. **Henry Alcides FALCON BRAVO**, al Mg. Milton Edwin Morales Aquino, docente del Programa Académico de Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería.

Artículo Segundo. - El interesado tendrá un plazo máximo de 6 meses para solicitar revisión del Trabajo de Investigación (Tesis). En todo caso deberá de solicitar nuevamente el trámite con el costo económico vigente.

REGÍSTRESE, COMUNÍQUESE Y ARCHÍVESE



Distribución:

Fac. de Ingeniería – PAIA – Asesor – Mat. y Reg Acad. – Interesado – Archivo.
BCRE/JML/ato.

ANEXO 3

RESOLUCIÓN DE APROBACIÓN DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO Facultad de Ingeniería

RESOLUCIÓN N° 1588-2025-D-FI-UDH

Huánuco, 31 de julio de 2025

Visto, el Oficio N° 526-2025-C-PAIA-FI-UDH, mediante el cual el Coordinador Académico de Ingeniería Ambiental, remite el dictamen de los jurados revisores, del Trabajo de Investigación (Tesis) intitulado: **"Comparación de la eficiencia biodegradativa de las larvas *Zophobas morio* y *Tenebrio molitor* en los residuos de poliuretano en el Distrito de Pillco Marca - Huánuco - 2025"**, presentado por el (la) Bach. **Henry Alcides FALCON BRAVO**.

CONSIDERANDO:

Que, mediante Resolución N° 006-2001-R-AU-UDH, de fecha 24 de julio de 2001, se crea la Facultad de Ingeniería, y;

Que, mediante Resolución de Consejo Directivo N° 076-2019-SUNEDU/CD, de fecha 05 de junio de 2019, otorga la Licencia a la Universidad de Huánuco para ofrecer el servicio educativo superior universitario, y;

Que, mediante Resolución N° 0467-2025-D-FI-UDH, de fecha 19 de marzo de 2025, perteneciente al Bach. **Henry Alcides FALCON BRAVO** se le designó como ASESOR(A) al Mg. Milton Edwin Morales Aquino, docente adscrito al Programa Académico de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería, y;

Que, según Oficio N° 526-2025-C-PAA-FI-UDH, del Coordinador Académico quien informa que los JURADOS REVISORES del Trabajo de Investigación (Tesis) intitulado: **"Comparación de la eficiencia biodegradativa de las larvas *Zophobas morio* y *Tenebrio molitor* en los residuos de poliuretano en el Distrito de Pillco Marca - Huánuco - 2025"**, presentado por el (la) Bach. **Henry Alcides FALCON BRAVO**, integrado por los siguientes docentes: Mg. Herman Atilio Tarazona Mirabal (Presidente), Mg. Verenis Nohely Condezo Beteta (Secretario) y Mg. Gianina Danae Rojas Berrios (Vocal), quienes declaran APTO para ser ejecutado el Trabajo de Investigación (Tesis), y;

Estando a las atribuciones conferidas al Decano de la Facultad de Ingeniería y con cargo a dar cuenta en el próximo Consejo de Facultad.

SE RESUELVE:

Artículo Primero. - APROBAR, el Trabajo de Investigación (Tesis) y su ejecución intitulado: **"Comparación de la eficiencia biodegradativa de las larvas *Zophobas morio* y *Tenebrio molitor* en los residuos de poliuretano en el Distrito de Pillco Marca - Huánuco - 2025"**, presentado por el (la) Bach. **Henry Alcides FALCON BRAVO**, para optar el Título Profesional de Ingeniero(a) Ambiental, del Programa Académico de Ingeniería Ambiental de la Universidad de Huánuco.

Artículo Segundo. - El Trabajo de Investigación (Tesis) deberá ejecutarse hasta un plazo máximo de 1 año de su Aprobación. En caso de incumplimiento podrá solicitar por única vez la ampliación del mismo (6 meses).

REGÍSTRESE, COMUNÍQUESE Y ARCHÍVESE



Distribución:

Fac. de Ingeniería - PAA - Asesor - Exp. Graduando - Interesado - Archivo.
BCR/EJML/nto.

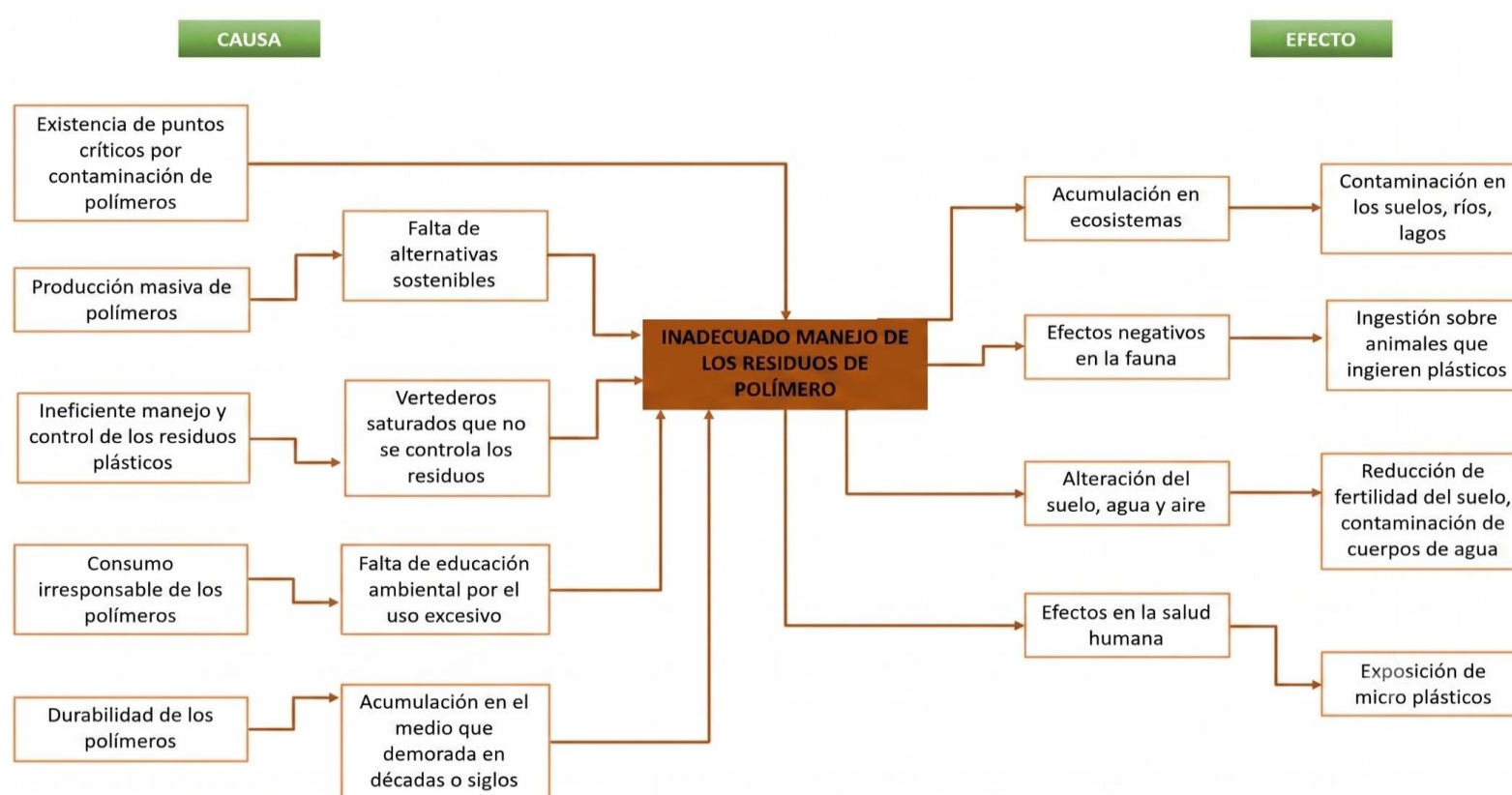
ANEXO 4

MAPA DE UBICACIÓN



ANEXO 5

DIAGRAMA DE CAUSAS Y EFECTOS



ANEXO 6

DIAGRAMA DE MEDIOS Y FINES



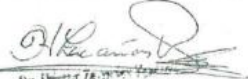
ANEXO 7

VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO DE MEDICIÓN (FICHAS DE RECOLECCIÓN)

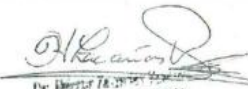
DATOS GENERALES DE LA LARVA ZOPHOBAS MORIO											
FACULTAD											
APELLIDOS Y NOMBRES:											
UBICACIÓN:											
VARIABLE DE CALIBRACIÓN:											
TRATAMIENTO											
VALIDACION	DR. HECTOR RAUL ZACARIAS VENTURA "VALIDACIÓN DE ESTAS FICHAS DE RECOLECCION DE DATOS"										
MUESTRAS	FECHA DE INICIO	CANTIDAD INICIAL DE LARVAS	CANTIDAD FINAL DE LARVAS	PESO INICIAL (G)	PESO FINAL (G)	TAMAÑO INICIAL (CM)	TAMAÑO FINAL (CM)	VARIACION DE TAMAÑO (CM)	EXCRETA PRODUCIDA (G)	TIEMPO DE ALIMENTACIÓN	FECHA FINAL
SALVADO DE TRIGO											
ESPONJA DE LAVAJILLAS (POLIURETANO FLEXIBLE)											
ALMOHADA MEMORY FOAM (POLIURETANO FLEXIBLE VISCOELASTICO)											


 DR. HECTOR RAUL ZACARIAS VENTURA
 INGENIERO INDUSTRIAL
 CIP. 180300

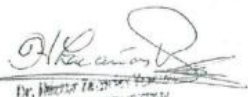
DATOS GENERALES DE LA LARVA ZOPHOBAS MORIO									
FACULTAD									
APELLIDOS Y NOMBRES:									
UBICACIÓN:									
VARIABLE EVALUATIVA:									
VALIDACION	DR. HECTOR RAUL ZACARIAS VENTURA "VALIDACIÓN DE ESTAS FICHAS DE RECOLECCION DE DATOS"								
TRATAMIENTO	FECHA DE INICIO	FECHA FINAL	Contenido de Humedad (%)	Temperatura (°C)	Cantidad Inicial (g)	Consumo Final (g)	Variación en el consumo de Poliuretano (g)	Sustrato Producido	Porcentaje de degradación de Poliuretano (%)
SALVADO DE TRIGO									
ESPONJA DE LAVAJILLAS (POLIURETANO FLEXIBLE)									
ALMOHADA MEMORY FOAM (POLIURETANO FLEXIBLE VISCOELASTICO)									


 Dr. Hector Raul Zacarias Ventura
 INGENIERO INDUSTRIAL
 CIP. 150300

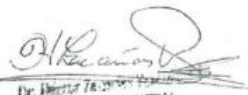
DATOS GENERALES DE LA LARVA TENEBRIO MOLITOR											
FACULTAD											
APELLIDOS Y NOMBRES:											
UBICACIÓN:											
VARIABLE DE CALIBRACIÓN:											
TRATAMIENTO											
VALIDACION	DR. HECTOR RAUL ZACARIAS VENTURA "VALIDACIÓN DE ESTAS FICHAS DE RECOLECCION DE DATOS"										
MUESTRAS	FECHA DE INICIO	CANTIDAD INICIAL DE LARVAS	CANTIDAD FINAL DE LARVAS	PESO INICIAL (G)	PESO FINAL (G)	TAMAÑO INICIAL (CM)	TAMAÑO FINAL (CM)	VARIACION DE TAMAÑO (CM)	EXCRETA PRODUCIDA (G)	TIEMPO DE ALIMENTACIÓN	FECHA FINAL
SALVADO DE TRIGO											
ESPONJA DE LAVAJILLAS (POLIURETANO FLEXIBLE)											
ALMOHADA MEMORY FOAM (POLIURETANO FLEXIBLE VISCOELASTICO)											


 Dr. Hector Raul Zacarias Ventura
 INGENIERO INDUSTRIAL
 CIP. 190360

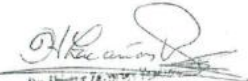
DATOS GENERALES DE LA LARVA TENEBRIO MOLITOR									
FACULTAD									
APELLIDOS Y NOMBRES:									
UBICACIÓN:									
VARIABLE EVALUATIVA									
VALIDACION	DR. HECTOR RAUL ZACARIAS VENTURA "VALIDACIÓN DE ESTAS FICHAS DE RECOLECCION DE DATOS"								
TRATAMIENTO	FECHA DE INICIO	FECHA FINAL	Contenido de Humedad (%)	Temperatura (°C)	Can'tidad Inicial (g)	Consumo Final (g)	Variación en el consumo de Poliuretano (g)	Sustrato Producido	Porcentaje de degradación de Poliuretano (%)
SALVADO DE TRIGO									
ESPONJA DE LAVAJILLAS (POLIURETANO FLEXIBLE)									
ALMOHADA MEMORY FOAM (POLIURETANO FLEXIBLE VISCOELASTICO)									


 Dr. Hector Raul Zacarias Ventura
 INGENIERO INDUSTRIAL
 CIP. 150300

FICHA DE OBSERVACIÓN SEMANAL – ZOPHOBAS MORIO					
		SEMANA _____	REVISION _____		
MUESTRAS	FRASCO N°	OBSERVACION SOBRE TAMAÑO	OBSERVACION SOBRE EL PESO	OBSERVACION GENERAL	
SALVADO DE TRIGO					
ESPONJA DE LAVAJILLAS (POLIURETANO FLEXIBLE)					
ALMOHADA MEMORY FOAM (POLIURETANO FLEXIBLE VISCOELASTICO)					


 Dr. Zephobas Morio
 INGENIERO INDUSTRIAL
 CIP. 190300

FICHA DE OBSERVACIÓN SEMANAL – TENEBRIO MOLITOR				
SEMANA _____ REVISION _____				
MUESTRAS	FRASCO N°	OBSERVACION SOBRE TAMAÑO	OBSERVACION SOBRE EL PESO	OBSERVACION GENERAL
SALVADO DE TRIGO				
ESPONJA DE LAVAJILLAS (POLIURETANO FLEXIBLE)				
ALMOHADA MEMORY FOAM (POLIURETANO FLEXIBLE VISCOELASTICO)				


 Dr. Dorely Rodríguez
 INGENIERO INDUSTRIAL
 CIP. 190360

ANEXO 8

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS ZOPHOBAS MORIO (SEMANA 1) - MUESTRAS

0.30 = el error
solo fue en
esta semana

Zophobas Morio

FICHA DE OBSERVACIÓN SEMANAL - TENEBRIO MOLITOR				
SEMANA <u>01</u> REVISION <u>25-10-2025</u>				
MUESTRAS	FRASCO N°	OBSERVACION SOBRE TAMAÑO	OBSERVACION SOBRE EL PESO	OBSERVACION GENERAL
SALVADO DE TRIGO	1	las mas pequeñas miden 1.6 cm. y las mas grandes 2.9 cm.	las mas pequeñas pesan 0.032 gr. y las mas grandes 0.043 gr.	Se observo que las larvas abandonan su exuvia para su crecimiento y no se observo ninguna bota en los 5 recipientes.
	2	las mas pequeñas miden 1.5 cm. y las mas grandes 3.0 cm.	las mas pequeñas pesan 0.015 gr. y las mas grandes 0.131 gr.	
	3	las mas pequeñas miden 1.7 cm. y las mas grandes 3.5 cm.	las mas pequeñas pesan 0.034 gr. y las mas grandes 0.210 gr.	
	4	las mas pequeñas miden 1.6 cm y las mas grandes 3.3 cm	las mas pequeñas pesan 0.031 gr. y las mas grandes 0.163 gr.	
	5	en las larvas mas pequeñas su tamaño es de 1.7 cm y las grandes 2.9 cm	en el peso en las larvas pequeñas es de 0.024 g. y en las grandes de 0.129 g.	
ESPONJA DE LAVAJILLAS (POLIURETANO FLEXIBLE)	1	las mas pequeñas miden 1.7 cm y las mas grandes 2.7 cm.	las mas pequeñas pesan 0.032 gr. y las mas grandes 0.124 gr.	Se observo que los larvas abandonaron su exuvia y no se observo ninguna bota en los 5 recipientes
	2	las mas pequeñas miden 1.6 cm y las grandes 3.3 cm.	las mas pequeñas pesan 0.017 gr. y las grandes 0.156 gr.	
	3	las mas pequeñas miden 1.5 cm y las grandes 3 cm.	las mas pequeñas pesan 0.026 gr. y las grandes pesan 0.171 gr.	
	4	las mas pequeñas miden 1.5 cm y las grandes 2.7 cm.	las mas pequeñas pesan 0.020 gr. y las grandes pesan 0.148 gr.	
	5	las mas pequeñas miden 1.6 cm y las grandes 2.7 cm.	las mas pequeñas pesan 0.018 gr. y las grandes pesan 0.098 gr.	
ALMOHADA MEMORY FOAM (POLIURETANO FLEXIBLE VISCOELASTICO)	1	las mas pequeñas miden 1.5 cm y las grandes 2.7 cm.	las mas pequeñas pesan 0.016 y las grandes 0.086 gr.	se observa su exuvia y no hay ninguna bota
	2	las mas pequeñas miden 1.5 cm y las grandes 2.9 cm.	las pequeñas pesan 0.022 gr. y las grandes 0.158 gr.	
	3	las mas pequeñas miden 1.5 cm y las grandes 2.8 cm	las mas pequeñas pesan 0.022 gr. y las grandes 0.139 gr.	
	4	las mas pequeñas miden 1.3 cm y las grandes 2.8 cm.	las mas pequeñas pesan 0.013 gr. y las grandes 0.091 gr.	
	5	las mas pequeñas miden 1.6 cm y las grandes 3.0 cm	las mas pequeñas pesan 0.017 gr. y las grandes 0.179 gr.	

ANEXO 9

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS *TENEBRIO MOLITOR* (SEMANA 1) - MUESTRAS

"Tenebrio Molitor"

Anexo 6: Ficha de control semanal

FICHA DE OBSERVACIÓN SEMANAL – ZOPHOBAS MORIO

SEMANA 01 REVISIÓN 25-10-2025

MUESTRAS	FRASCO N°	OBSERVACION SOBRE TAMAÑO	OBSERVACION SOBRE EL PESO	OBSERVACION GENERAL
SALVADO DE TRIGO	1	1.5 cm 2.5 cm	0.026 gr 0.101 gr	
	2	Pequeño → 1.5 cm Grande → 2.3 cm	Pequeño → 0.019 gr Grande → 0.088 gr	
	3	Pequeño → 1.3 cm Grande → 2.3 cm	Pequeño → 0.019 gr Grande → 0.133 gr	
	4	Pequeño → 1.8 cm Grande → 2.2 cm	Pequeño → 0.025 gr Grande → 0.118 gr	
	5	Pequeño → 1.5 cm Grande → 2.5 cm	Pequeño → 0.035 gr Grande → 0.095 gr	
ESPONJA DE LAVAJILLAS (POLIURETANO FLEXIBLE)	1	1.4 cm 2.4 cm	0.020 gr 0.097 gr	
	2	1.9 cm 2.4 cm	0.031 gr 0.098 gr	
	3	1.2 cm 2.5 cm	0.018 gr 0.102 gr	
	4	1.3 cm 2.5 cm	0.028 gr 0.100 gr	
	5	1.5 cm 2.2 cm	0.024 gr 0.035 gr	
ALMOHADA MEMORY FOAM (POLIURETANO FLEXIBLE VISCOELASTICO)	1	1.4 cm 2.2 cm	0.013 gr 0.030 gr	
	2	1.7 cm 2.3 cm	0.015 gr 0.068 gr	
	3	1.5 cm 2.2 cm	0.020 gr 0.067 gr	
	4	1.5 cm 2.3 cm	0.020 gr 0.082 gr	
	5	1.3 cm 1.9 cm	0.028 gr 0.094 gr	

ANEXO 10

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS ZOPHOBAS MORIO (SEMANA 2) - MUESTRAS

Anexo 6: Ficha de control semanal

FICHA DE OBSERVACIÓN SEMANAL - ZOPHOBAS MORIO						
SEMANA <u>02</u> REVISIÓN <u>1-11-2025</u>						
MUESTRAS	FRASCO N°	OBSERVACION SOBRE TAMAÑO		OBSERVACION SOBRE EL PESO		OBSERVACION GENERAL
SALVADO DE TRIGO	1	$P = 1.7 \text{ cm}$	$Gr = 2.9 \text{ cm}$	$P = 0.025$	$Gr = 0.094$	no se evidencio nada raro
	2	$P = 1.5 \text{ cm}$	$Gr = 2.9 \text{ cm}$	$P = 0.026$	$Gr = 0.133$	
	3	$P = 1.9 \text{ cm}$	$Gr = 2.5 \text{ cm}$	$P = 0.032$	$Gr = 0.270$	
	4	$P = 1.8 \text{ cm}$	$Gr = 3.1 \text{ cm}$	$P = 0.041$	$Gr = 0.171$	
	5	$P = 1.5 \text{ cm}$	$Gr = 3 \text{ cm}$	$P = 0.016$	$Gr = 0.136$	
ESPONJA DE LAVAJILLAS (POLIURETANO FLEXIBLE)	1	$P = 1.7 \text{ cm}$	$Gr = 2.8 \text{ cm}$	$P = 0.025$	$Gr = 0.128$	
	2	$P = 1.6 \text{ cm}$	$Gr = 3.1 \text{ cm}$	$P = 0.023$	$Gr = 0.161$	
	3	$P = 1.4 \text{ cm}$	$Gr = 3.2 \text{ cm}$	$P = 0.022$	$Gr = 0.182$	
	4	$P = 1.9 \text{ cm}$	$Gr = 2.8 \text{ cm}$	$P = 0.036$	$Gr = 0.183$	
	5	$P = 1.6 \text{ cm}$	$Gr = 2.7 \text{ cm}$	$P = 0.027$	$Gr = 0.107$	
ALMOHADA MEMORY FOAM (POLIURETANO FLEXIBLE VISCOELASTICO)	1	$P = 1.4 \text{ cm}$	$Gr = 2.5$	$P = 0.014$	$Gr = 0.094$	
	2	$P = 1.4 \text{ cm}$	$Gr = 3.1 \text{ cm}$	$P = 0.020$	$Gr = 0.164$	
	3	$P = 1.2 \text{ cm}$	$Gr = 3 \text{ cm}$	$P = 0.015$	$Gr = 0.147$	
	4	$P = 2.2 \text{ cm}$	$Gr = 2.6 \text{ cm}$	$P = 0.028$	$Gr = 0.104$	
	5	$P = 2.1 \text{ cm}$	$Gr = 3.1 \text{ cm}$	$P = 0.061$	$Gr = 0.189$	

ANEXO 11

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS *TENEBRIO MOLITOR* (SEMANA 2) - MUESTRAS

FICHA DE OBSERVACIÓN SEMANAL - <i>TENEBRIO MOLITOR</i>					
SEMANA <u>02</u> REVISIÓN <u>1-11-2025</u>					
MUESTRAS	FRASCO N°	OBSERVACION SOBRE TAMAÑO		OBSERVACION SOBRE EL PESO	
SALVADO DE TRIGO	1	$P = 1.5 \text{ cm}$	$Gr = 2.6 \text{ cm}$	$P = 0.027$	$Gr = 0.131$
	2	$P = 1.6 \text{ cm}$	$Gr = 2.5 \text{ cm}$	$P = 0.028$	$Gr = 0.103$
	3	$P = 1.3 \text{ cm}$	$Gr = 2.7 \text{ cm}$	$P = 0.016$	$Gr = 0.110$
	4	$P = 1.8 \text{ cm}$	$Gr = 2.4 \text{ cm}$	$P = 0.038$	$Gr = 0.094$
	5	$P = 1.8 \text{ cm}$	$Gr = 2.9 \text{ cm}$	$P = 0.043$	$Gr = 0.110$
ESPONJA DE LAVAJILLAS (POLIURETANO FLEXIBLE)	1	$P = 1.4 \text{ cm}$	$Gr = 2.8 \text{ cm}$	$P = 0.011$	$Gr = 0.094$
	2	$P = 1.5 \text{ cm}$	$Gr = 2.3 \text{ cm}$	$P = 0.022$	$Gr = 0.090$
	3	$P = 1.5 \text{ cm}$	$Gr = 2.2 \text{ cm}$	$P = 0.023$	$Gr = 0.080$
	4	$P = 1.5 \text{ cm}$	$Gr = 2.2 \text{ cm}$	$P = 0.022$	$Gr = 0.075$
	5	$P = 1.6 \text{ cm}$	$Gr = 2.6 \text{ cm}$	$P = 0.026$	$Gr = 0.083$
ALMOHADA MEMORY FOAM (POLIURETANO FLEXIBLE VISCOELASTICO)	1	$P = 1.2 \text{ cm}$	$Gr = 2.1 \text{ cm}$	$P = 0.010$	$Gr = 0.068$
	2	$P = 1.5 \text{ cm}$	$Gr = 2.1 \text{ cm}$	$P = 0.021$	$Gr = 0.063$
	3	$P = 1.4 \text{ cm}$	$Gr = 2 \text{ cm}$	$P = 0.019$	$Gr = 0.065$
	4	$P = 1.3 \text{ cm}$	$Gr = 2.1 \text{ cm}$	$P = 0.024$	$Gr = 0.073$
	5	$P = 1.4 \text{ cm}$	$Gr = 2.0 \text{ cm}$	$P = 0.020$	$Gr = 0.062$

ANEXO 12

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS ZOPHOBAS MORIO (SEMANA 3) - MUESTRAS

Anexo 6: Ficha de control semanal

FICHA DE OBSERVACIÓN SEMANAL – ZOPHOBAS MORIO						
SEMANA <u>03</u> REVISION <u>08-11-2025</u>						
MUESTRAS	FRASCO N°	OBSERVACION SOBRE TAMAÑO		OBSERVACION SOBRE EL PESO		OBSERVACION GENERAL
SALVADO DE TRIGO	1	P = 1.8 cm	Gr = 3.0 cm	P = 0.026	Gr = 0.094	
	2	P = 1.7 cm	Gr = 3.1 cm	P = 0.023	Gr = 0.134	
	3	P = 2.0 cm	Gr = 3.6 cm	P = 0.033	Gr = 0.271	
	4	P = 1.9 cm	Gr = 3.2 cm	P = 0.042	Gr = 0.172	
	5	P = 1.6 cm	Gr = 3.1 cm	P = 0.018	Gr = 0.138	
ESPONJA DE LAVAJILLAS (POLIURETANO FLEXIBLE)	1	P = 1.4 cm	Gr = 3.0 cm	P = 0.026	Gr = 0.129	
	2	P = 1.7 cm	Gr = 3.2 cm	P = 0.024	Gr = 0.162	
	3	P = 1.6 cm	Gr = 3.3 cm	P = 0.023	Gr = 0.183	
	4	P = 2.0 cm	Gr = 2.9 cm	P = 0.037	Gr = 0.155	
	5	P = 1.6 cm	Gr = 2.8 cm	P = 0.028	Gr = 0.109	
ALMOHADA MEMORY FOAM (POLIURETANO FLEXIBLE VISCOELASTICO)	1	P = 1.8 cm	Gr = 2.6 cm	P = 0.015	Gr = 0.046	
	2	P = 1.5 cm	Gr = 3.2 cm	P = 0.021	Gr = 0.170	
	3	P = 1.3 cm	Gr = 3.1 cm	P = 0.016	Gr = 0.150	
	4	P = 2.3 cm	Gr = 2.7 cm	P = 0.029	Gr = 0.167	
	5	P = 2.2 cm	Gr = 3.2 cm	P = 0.062	Gr = 0.190	

ANEXO 13

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS *TENEBRIO MOLITOR* (SEMANA 3) - MUESTRAS

FICHA DE OBSERVACIÓN SEMANAL -- <i>TENEBRIO MOLITOR</i>						
SEMANA <u>03</u> REVISIÓN <u>08-11-2025</u>						
MUESTRAS	FRASCO N°	OBSERVACION SOBRE TAMAÑO		OBSERVACION SOBRE EL PESO		OBSERVACION GENERAL
SALVADO DE TRIGO	1	P = 1.6 cm	Gr = 2.7 cm	P = 0.028	Gr = 0.132	
	2	P = 1.7 cm	Gr = 2.6 cm	P = 0.029	Gr = 0.104	
	3	P = 1.5 cm	Gr = 2.9 cm	P = 0.018	Gr = 0.112	
	4	P = 1.9 cm	Gr = 2.6 cm	P = 0.039	Gr = 0.046	
	5	P = 1.4 cm	Gr = 3.0 cm	P = 0.044	Gr = 0.113	
ESPONJA DE LAVAJILLAS (POLIURETANO FLEXIBLE)	1	P = 1.6 cm	Gr = 2.7 cm	P = 0.022	Gr = 0.096	
	2	P = 1.7 cm	Gr = 2.5 cm	P = 0.024	Gr = 0.092	
	3	P = 1.6 cm	Gr = 2.4 cm	P = 0.027	Gr = 0.082	
	4	P = 1.6 cm	Gr = 2.7 cm	P = 0.024	Gr = 0.077	
	5	P = 1.7 cm	Gr = 2.7 cm	P = 0.027	Gr = 0.085	
ALMOHADA MEMORY FOAM (POLIURETANO FLEXIBLE VISCOELASTICO)	1	P = 1.5 cm	Gr = 2.2 cm	P = 0.012	Gr = 0.069	
	2	P = 1.6 cm	Gr = 2.2 cm	P = 0.022	Gr = 0.066	
	3	P = 1.5 cm	Gr = 2.1 cm	P = 0.020	Gr = 0.068	
	4	P = 1.5 cm	Gr = 2.3 cm	P = 0.026	Gr = 0.079	
	5	P = 1.5 cm	Gr = 2.2 cm	P = 0.021	Gr = 0.068	

ANEXO 14

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS ZOPHOBAS MORIO (SEMANA 4) - MUESTRAS

Anexo 6: Ficha de control semanal						
FICHA DE OBSERVACIÓN SEMANAL – ZOPHOBAS MORIO						
SEMANA <u>04</u> REVISION <u>15-11-2025</u>						
MUESTRAS	FRASCO N°	OBSERVACION SOBRE TAMAÑO		OBSERVACION SOBRE EL PESO		OBSERVACION GENERAL
SALVADO DE TRIGO	1	P = 1.9 cm	Gr = 3.0 cm	P = 0.027	Gr = 0.045	
	2	P = 1.7 cm	Gr = 3.1 cm	P = 0.028	Gr = 0.135	
	3	P = 2.0 cm	Gr = 3.6 cm	P = 0.033	Gr = 0.271	
	4	P = 2.0 cm	Gr = 3.2 cm	P = 0.043	Gr = 0.172	
	5	P = 1.7 cm	Gr = 3.1 cm	P = 0.019	Gr = 0.139	
ESPONJA DE LAVAJILLAS (POLIURETANO FLEXIBLE)	1	P = 2.0 cm	Gr = 3.0 cm	P = 0.027	Gr = 0.130	
	2	P = 1.8 cm	Gr = 3.2 cm	P = 0.025	Gr = 0.162	
	3	P = 1.7 cm	Gr = 3.3 cm	P = 0.024	Gr = 0.184	
	4	P = 2.0 cm	Gr = 2.9 cm	P = 0.038	Gr = 0.156	
	5	P = 1.7 cm	Gr = 2.9 cm	P = 0.029	Gr = 0.110	
ALMOHADA MEMORY FOAM (POLIURETANO FLEXIBLE VISCOELASTICO)	1	P = 1.6 cm	Gr = 2.7 cm	P = 0.016	Gr = 0.097	
	2	P = 1.6 cm	Gr = 3.2 cm	P = 0.021	Gr = 0.171	
	3	P = 1.4 cm	Gr = 3.1 cm	P = 0.017	Gr = 0.151	
	4	P = 2.4 cm	Gr = 2.8 cm	P = 0.030	Gr = 0.168	
	5	P = 2.3 cm	Gr = 3.2 cm	P = 0.063	Gr = 0.191	

ANEXO 15

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS *TENEBRIO MOLITOR* (SEMANA 4) - MUESTRAS

FICHA DE OBSERVACIÓN SEMANAL - <i>TENEBRIO MOLITOR</i>						
SEMANA <u>04</u> REVISIÓN <u>15-11-2025</u>						
MUESTRAS	FRASCO N°	OBSERVACION SOBRE TAMAÑO		OBSERVACION SOBRE EL PESO		OBSERVACION GENERAL
SALVADO DE TRIGO	1	P = 1.7 cm	Gr = 2.8 cm	P = 0.029	Gr = 0.133	
	2	P = 1.7 cm	Gr = 2.7 cm	P = 0.029	Gr = 0.106	
	3	P = 1.6 cm	Gr = 3.0 cm	P = 0.019	Gr = 0.113	
	4	P = 1.9 cm	Gr = 2.7 cm	P = 0.040	Gr = 0.097	
	5	P = 2.0 cm	Gr = 3.1 cm	P = 0.045	Gr = 0.114	
ESPONJA DE LAVAJILLAS (POLIURETANO FLEXIBLE)	1	P = 1.7 cm	Gr = 2.8 cm	P = 0.023	Gr = 0.097	
	2	P = 1.8 cm	Gr = 2.6 cm	P = 0.025	Gr = 0.093	
	3	P = 1.7 cm	Gr = 2.5 cm	P = 0.028	Gr = 0.084	
	4	P = 1.6 cm	Gr = 2.8 cm	P = 0.025	Gr = 0.098	
	5	P = 1.7 cm	Gr = 2.3 cm	P = 0.028	Gr = 0.086	
ALMOHADA MEMORY FOAM (POLIURETANO FLEXIBLE VISCOELASTICO)	1	P = 1.6 cm	Gr = 2.3 cm	P = 0.014	Gr = 0.070	
	2	P = 1.7 cm	Gr = 2.2 cm	P = 0.022	Gr = 0.066	
	3	P = 1.8 cm	Gr = 2.2 cm	P = 0.021	Gr = 0.069	
	4	P = 1.6 cm	Gr = 2.4 cm	P = 0.027	Gr = 0.079	
	5	P = 1.6 cm	Gr = 2.3 cm	P = 0.022	Gr = 0.068	

ANEXO 16

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS ZOPHOBAS MORIO (SEMANA 5) - MUESTRAS

Anexo 6: Ficha de control semanal

FICHA DE OBSERVACIÓN SEMANAL – ZOPHOBAS MORIO						
SEMANA <u>05</u> REVISION <u>22-11-2025</u>						
MUESTRAS	FRASCO N°	OBSERVACION SOBRE TAMAÑO		OBSERVACION SOBRE EL PESO		OBSERVACION GENERAL
SALVAIDO DE TRIGO	1	P = 1.9 cm	Gr = 3.1 cm	P = 0.028	Gr = 0.096	
	2	P = 1.7 cm	Gr = 3.1 cm	P = 0.028	Gr = 0.136	
	3	P = 2.1 cm	Gr = 3.6 cm	P = 0.034	Gr = 0.271	
	4	P = 2.1 cm	Gr = 3.2 cm	P = 0.044	Gr = 0.173	
	5	P = 1.8 cm	Gr = 3.2 cm	P = 0.023	Gr = 0.139	
ESPONJA DE LAVAJILLAS (POLIURETANO FLEXIBLE)	1	P = 2.1 cm	Gr = 3.1 cm	P = 0.028	Gr = 0.131	
	2	P = 1.9 cm	Gr = 3.2 cm	P = 0.026	Gr = 0.163	
	3	P = 1.8 cm	Gr = 3.3 cm	P = 0.025	Gr = 0.185	
	4	P = 1.8 cm	Gr = 3.0 cm	P = 0.029	Gr = 0.156	
	5	P = 2.1 cm	Gr = 2.9 cm	P = 0.030	Gr = 0.111	
ALMOHADA MEMORY FOAM (POLIURETANO FLEXIBLE VISCOELASTICO)	1	P = 1.6 cm	Gr = 2.8 cm	P = 0.021	Gr = 0.099	
	2	P = 1.7 cm	Gr = 3.3 cm	P = 0.024	Gr = 0.124	
	3	P = 1.6 cm	Gr = 3.1 cm	P = 0.021	Gr = 0.151	
	4	P = 2.4 cm	Gr = 2.9 cm	P = 0.038	Gr = 0.169	
	5	P = 2.3 cm	Gr = 3.2 cm	P = 0.064	Gr = 0.192	

ANEXO 17

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS *TENEbrio MOLITOR* (SEMANA 5) - MUESTRAS

FICHA DE OBSERVACIÓN SEMANAL - <i>TENEbrio MOLITOR</i>						
SEMANA <u>05</u> REVISION <u>22-11-2025</u>						
MUESTRAS	FRASCO N°	OBSERVACION SOBRE TAMAÑO		OBSERVACION SOBRE EL PESO		OBSERVACION GENERAL
SALVADO DE TRIGO	1	P = 1.7 cm	Gr = 2.9 cm	P = 0.029	Gr = 0.134	Se observa el crecimiento, pero muchas larvas ya se nota el inicio de ser Pupas
	2	P = 1.7 cm	Gr = 2.7 cm	P = 0.029	Gr = 0.106	
	3	P = 1.7 cm	Gr = 3.0 cm	P = 0.019	Gr = 0.113	
	4	P = 2.0 cm	Gr = 2.8 cm	P = 0.040	Gr = 0.098	
	5	P = 2.1 cm	Gr = 3.1 cm	P = 0.048	Gr = 0.114	
ESPONJA DE LAVAJILLAS (POLIURETANO FLEXIBLE)	1	P = 1.8 cm	Gr = 2.8 cm	P = 0.024	Gr = 0.097	
	2	P = 1.8 cm	Gr = 2.7 cm	P = 0.025	Gr = 0.094	
	3	P = 1.8 cm	Gr = 2.5 cm	P = 0.029	Gr = 0.084	
	4	P = 1.7 cm	Gr = 2.8 cm	P = 0.026	Gr = 0.078	
	5	P = 1.8 cm	Gr = 2.4 cm	P = 0.029	Gr = 0.087	
ALMOHADA MEMORY FOAM (POLIURETANO FLEXIBLE VISCOELASTICO)	1	P = 1.7 cm	Gr = 2.4 cm	P = 0.015	Gr = 0.071	
	2	P = 1.8 cm	Gr = 2.2 cm	P = 0.023	Gr = 0.066	
	3	P = 1.7 cm	Gr = 2.3 cm	P = 0.022	Gr = 0.069	
	4	P = 1.7 cm	Gr = 2.4 cm	P = 0.028	Gr = 0.079	
	5	P = 1.7 cm	Gr = 2.3 cm	P = 0.023	Gr = 0.068	

ANEXO 18

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS ZOPHOBAS MORIO (SEMANA 6) - MUESTRAS

Anexo 6: Ficha de control semanal

FICHA DE OBSERVACIÓN SEMANAL – ZOPHOBAS MORIO						
SEMANA <u>06</u> REVISION <u>29-11-2025</u>						
MUESTRAS	FRASCO N°	OBSERVACION SOBRE TAMAÑO		OBSERVACION SOBRE EL PESO		OBSERVACION GENERAL
SALVADO DE TRIGO	1	P=1.4cm	Gr=3.1cm	P=0.028	Gr=0.046	- 2 muestra
	2	P=1.4cm	Gr=3.1cm	P=0.028	Gr=0.137	
	3	P=2.1cm	Gr=3.6cm	P=0.034	Gr=0.271	
	4	P=2.1cm	Gr=3.2cm	P=0.044	Gr=0.174	
	5	P=1.8cm	Gr=3.3cm	P=0.024	Gr=0.139	
ESPONJA DE LAVAJILLAS (POLIURETANO FLEXIBLE)	1	P=2.1cm	Gr=3.1cm	P=0.028	Gr=0.132	- 3 muestra - 1 muestra
	2	P=1.9cm	Gr=3.2cm	P=0.027	Gr=0.164	
	3	P=1.9cm	Gr=3.3cm	P=0.025	Gr=0.185	
	4	P=2.0cm	Gr=3.1cm	P=0.040	Gr=0.156	
	5	P=2.1cm	Gr=3.0cm	P=0.031	Gr=0.111	
ALMOHADA MEMORY FOAM (POLIURETANO FLEXIBLE VISCOELASTICO)	1	P=1.8cm	Gr=2.9cm	P=0.022	Gr=0.100	- 1 muestra - 1 muestra - 1 muestra
	2	P=1.7cm	Gr=3.3cm	P=0.024	Gr=0.175	
	3	P=1.6cm	Gr=3.1cm	P=0.022	Gr=0.151	
	4	P=2.4cm	Gr=2.9cm	P=0.034	Gr=0.169	
	5	P=2.3cm	Gr=3.2cm	P=0.065	Gr=0.193	

ANEXO 19

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS *TENEbrio MOLITOR* (SEMANA 6) - MUESTRAS

FICHA DE OBSERVACIÓN SEMANAL - <i>TENEbrio MOLITOR</i>						
SEMANA <u>06</u> REVISION <u>29-11-2025</u>						
MUESTRAS	FRASCO N°	OBSERVACION SOBRE TAMAÑO		OBSERVACION SOBRE EL PESO		OBSERVACION GENERAL
SALVADO DE TRIGO	1	P = 1.7 cm	Gr = 2.4 cm	P = 0.030	Gr = 0.135	ya para este tiempo las larvas, la mayoría eran pupas por el tiempo y el clima - 6 PUPAS
	2	P = 1.7 cm	Gr = 2.8 cm	P = 0.029	Gr = 0.106	
	3	P = 1.7 cm	Gr = 3.0 cm	P = 0.019	Gr = 0.113	
	4	P = 2.1 cm	Gr = 2.8 cm	P = 0.041	Gr = 0.099	
	5	P = 2.1 cm	Gr = 3.1 cm	P = 0.049	Gr = 0.114	
ESPONJA DE LAVAJILLAS (POLIURETANO FLEXIBLE)	1	P = 1.8 cm	Gr = 2.8 cm	P = 0.024	Gr = 0.097	- 1 muerto - 1 muerto
	2	P = 1.8 cm	Gr = 2.7 cm	P = 0.025	Gr = 0.094	
	3	P = 1.8 cm	Gr = 2.5 cm	P = 0.024	Gr = 0.084	
	4	P = 1.8 cm	Gr = 2.8 cm	P = 0.026	Gr = 0.078	
	5	P = 1.8 cm	Gr = 2.4 cm	P = 0.029	Gr = 0.088	
ALMOHADA MEMORY FOAM (POLIURETANO FLEXIBLE VISCOELASTICO)	1	P = 1.7 cm	Gr = 2.4 cm	P = 0.015	Gr = 0.071	- 1 muerto - 2 muerto
	2	P = 1.8 cm	Gr = 2.3 cm	P = 0.024	Gr = 0.066	
	3	P = 1.8 cm	Gr = 2.4 cm	P = 0.022	Gr = 0.069	
	4	P = 1.7 cm	Gr = 2.5 cm	P = 0.028	Gr = 0.079	
	5	P = 1.7 cm	Gr = 2.4 cm	P = 0.023	Gr = 0.069	

ANEXO 20

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS *TENEBRIO MOLITOR* - TRATAMIENTO

DATOS GENERALES DE LA LARVA <i>TENEBRIO MOLITOR</i>												
FACULTAD	<i>Ingeniería Ambiental</i>											
APELLIDOS Y NOMBRES:	<i>Falcon Bravo, Henry Alcides</i>											
UBICACIÓN:	<i>Huanuco - Huánuco - Pillo Merca</i>											
VARIABLE DE CALIBRACIÓN:	<i>Eficiencia biodegradativa de las larvas</i>											
TRATAMIENTO	<i>Eficiencia de la larva <i>Tenebrio molitor</i></i>											
MUESTRAS	FECHA DE INICIO	CANTIDAD INICIAL DE LARVAS	CANTIDAD FINAL DE LARVAS	PESO INICIAL (G)	PESO FINAL (G)	TAMAÑO INICIAL (CM)	TAMAÑO FINAL (CM)	VARIACION DE TAMAÑO (CM)	EXCRETA PRODUCIDA (G)	TIEMPO DE ALIMENTACIÓN	FECHA FINAL	
SALVADO DE TRIGO	<i>16-10-23</i>	<i>35</i>	<i>35</i>	<i>0.024</i> <i>0.111</i>	<i>0.070</i> <i>0.135</i>	<i>1.2</i> <i>2.3</i>	<i>1.7 - 2.4</i>	<i>0.5 - 0.6</i>	<i>2.101</i>	<i>50 dias</i>	<i>04-12-2025</i>	
	<i>16-10-25</i>	<i>35</i>	<i>35</i>	<i>0.026</i> <i>0.098</i>	<i>0.029</i> <i>0.106</i>	<i>1.1</i> <i>2.4</i>	<i>1.7 - 2.8</i>	<i>0.6 - 0.4</i>	<i>2.435</i>	<i>50 d</i>		
	<i>16-10-25</i>	<i>35</i>	<i>32</i>	<i>0.031</i> <i>0.098</i>	<i>0.019</i> <i>0.113</i>	<i>0.4</i> <i>2.1</i>	<i>1.7 - 3.0</i>	<i>0.8 - 0.9</i>	<i>1.929</i>	<i>50 d</i>		
	<i>16-10-25</i>	<i>35</i>	<i>34</i>	<i>0.040</i> <i>0.102</i>	<i>0.041</i> <i>0.049</i>	<i>1.1</i> <i>2.0</i>	<i>2.1 - 2.8</i>	<i>1.0 - 0.8</i>	<i>1.998</i>	<i>50 d</i>		
	<i>16-10-25</i>	<i>35</i>	<i>32</i>	<i>0.026</i> <i>0.112</i>	<i>0.049</i> <i>0.114</i>	<i>0.8</i> <i>2.2</i>	<i>2.1 - 3.1</i>	<i>1.3 - 1.1</i>	<i>1.744</i>	<i>50 d</i>		
ESPONJA DE LAVAJILLAS (POLIURETANO FLEXIBLE)	<i>16-10-25</i>	<i>35</i>	<i>35</i>	<i>0.021</i> <i>0.121</i>	<i>0.024</i> <i>0.047</i>	<i>0.8</i> <i>2.1</i>	<i>1.8 - 2.8</i>	<i>1.0 - 0.7</i>	<i>0.024</i>	<i>50 d</i>		
	<i>16-10-25</i>	<i>35</i>	<i>35</i>	<i>0.026</i> <i>0.108</i>	<i>0.025</i> <i>0.044</i>	<i>0.9</i> <i>1.4</i>	<i>1.8 - 2.7</i>	<i>0.9 - 0.8</i>	<i>0.033</i>	<i>50 d</i>		
	<i>16-10-25</i>	<i>35</i>	<i>34</i>	<i>0.029</i> <i>0.084</i>	<i>0.024</i> <i>0.084</i>	<i>0.8</i> <i>2.3</i>	<i>1.8 - 2.5</i>	<i>1.0 - 0.6</i>	<i>0.020</i>	<i>50 d</i>		
	<i>16-10-25</i>	<i>35</i>	<i>34</i>	<i>0.021</i> <i>0.107</i>	<i>0.026</i> <i>0.078</i>	<i>0.8</i> <i>2.0</i>	<i>1.8 - 2.8</i>	<i>1.0 - 0.8</i>	<i>0.038</i>	<i>50 d</i>		
	<i>16-10-25</i>	<i>35</i>	<i>35</i>	<i>0.030</i> <i>0.111</i>	<i>0.029</i> <i>0.088</i>	<i>0.9</i> <i>2.1</i>	<i>1.8 - 2.4</i>	<i>0.9 - 0.3</i>	<i>0.040</i>	<i>50 d</i>		
ALMOHADA MEMORY FOAM (POLIURETANO FLEXIBLE VISCOELÁSTICO)	<i>16-10-23</i>	<i>35</i>	<i>34</i>	<i>0.018</i> <i>0.108</i>	<i>0.015</i> <i>0.071</i>	<i>0.9</i> <i>2.1</i>	<i>1.7 - 2.4</i>	<i>0.8 - 0.3</i>	<i>0.015</i>	<i>50 d</i>		
	<i>16-10-25</i>	<i>35</i>	<i>35</i>	<i>0.026</i> <i>0.118</i>	<i>0.024</i> <i>0.066</i>	<i>1.0</i> <i>2.0</i>	<i>1.8 - 2.3</i>	<i>0.8 - 0.3</i>	<i>0.026</i>	<i>50 d</i>		
	<i>16-10-25</i>	<i>35</i>	<i>35</i>	<i>0.031</i> <i>0.099</i>	<i>0.022</i> <i>0.064</i>	<i>0.8</i> <i>2.2</i>	<i>1.8 - 2.4</i>	<i>1.0 - 0.2</i>	<i>0.034</i>	<i>50 d</i>		
	<i>16-10-25</i>	<i>35</i>	<i>33</i>	<i>0.040</i> <i>0.119</i>	<i>0.028</i> <i>0.079</i>	<i>1.1</i> <i>2.2</i>	<i>1.7 - 2.5</i>	<i>0.6 - 0.3</i>	<i>0.025</i>	<i>50 d</i>		
	<i>16-10-25</i>	<i>35</i>	<i>35</i>	<i>0.032</i> <i>0.121</i>	<i>0.023</i> <i>0.064</i>	<i>1.2</i> <i>2.3</i>	<i>1.7 - 2.4</i>	<i>0.5 - 0.1</i>	<i>0.031</i>	<i>50 d</i>		

DATOS GENERALES DE LA LARVA TENEBRIO MOLITOR									
FACULTAD	Ingeniería Ambiental								
APELLIDOS Y NOMBRES:	Falcon Bravo Henry Alades								
UBICACIÓN:	Huánuco - Huánuco - Pillas Marca								
VARIABLE EVALUATIVA	Residuos de Poliuretano								
TRATAMIENTO	FECHA DE INICIO	FECHA FINAL	Contenido de Humedad (%)	Temperatura (°C)	Cantidad Inicial (g)	Consumo Final (g)	Variación en el consumo de Poliuretano (g)	Sustrato Producido	Porcentaje de degradación de Poliuretano (%)
SALVADO DE TRIGO	16-10-25	04-12-25	52	28.5	16.995	14.424	2.571	2.101	
	16-10-25	04-12-25			17.000	16.121	0.879	2.435	
	16-10-25	04-12-25			16.940	16.041	0.899	1.929	
	16-10-25	04-12-25			16.988	15.704	1.284	1.998	
	16-10-25	04-12-25			16.957	14.189	2.768	1.744	
ESPONJA DE LAVAJILLAS (POLIURETANO FLEXIBLE)	16-10-25	04-12-25	51	26.4	1.533	1.408	0.125	0.024	
	16-10-25	04-12-25			1.392	1.279	0.113	0.033	
	16-10-25	04-12-25			1.382	1.261	0.121	0.020	
	16-10-25	04-12-25			1.326	1.204	0.122	0.038	
	16-10-25	04-12-25			1.409	1.285	0.124	0.040	
ALMOHADA MEMORY FOAM (POLIURETANO FLEXIBLE VISCOELASTICO)	16-10-25	04-12-25	53	25.6	1.537	1.461	0.076	0.015	
	16-10-25	04-12-25			1.531	1.471	0.080	0.026	
	16-10-25	04-12-25			1.512	1.437	0.075	0.034	
	16-10-25	04-12-25			1.557	1.328	0.229	0.025	
	16-10-25	04-12-25			1.502	1.413	0.089	0.031	

ANEXO 21

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS ZOPHOBAS MORIO - TRATAMIENTO

Anexo 5: Ficha de recolección de datos

DATOS GENERALES DE LA LARVA ZOPHODAS MORIO											
FACULTAD	Ingeniería Ambiental										
APELLIDOS Y NOMBRES:	Falcon Bravo, Henry Alcides										
UBICACIÓN:	Huánuco - Huánuco - Pillo Marca										
VARIABLE DE CALIBRACIÓN:	Eficiencia biodegradativa de las larvas										
TRATAMIENTO	Eficiencia de la larva Zophobas Morio										
MUESTRAS	FECHA DE INICIO	CANTIDAD INICIAL DE LARVAS	CANTIDAD FINAL DE LARVAS	PESO INICIAL (G)	PESO FINAL (G)	TAMAÑO INICIAL (CM)	TAMAÑO FINAL (CM)	VARIACION DE TAMAÑO (CM)	EXCRETA PRODUCIDA (G)	TIEMPO DE ALIMENTACIÓN	FECHA FINAL
SALVADO DE TRIGO	16-10-25	35	33	0.018 0.104	0.028 0.096	1.5 2.9	1.9 - 3.1	0.4 - 0.2	0.412g	50 días	04-12-2025
	16-10-25	35	25	0.024 0.149	0.023 0.137	1.4 2.6	1.4 - 3.1	0.5 - 0.5	0.851g	50 d	
	16-10-25	35	35	0.031 0.200	0.034 0.231	1.6 2.5	2.1 - 3.6	0.5 - 1.1	0.090g	50 d	
	16-10-25	35	35	0.034 0.166	0.044 0.174	1.4 2.4	2.1 - 3.2	0.7 - 0.8	0.213g	50 d	
	16-10-25	35	35	0.032 0.116	0.024 0.134	1.5 2.2	1.8 - 3.8	0.8 - 1.1	0.123g	50 d	
ESPONJA DE LAVAJILLAS (POLIURETANO FLEXIBLE)	16-10-25	35	35	0.021 0.120	0.028 0.132	1.6 2.0	2.1 - 3.1	0.5 - 1.1	0.108g	50 d	
	16-10-25	35	37	0.024 0.150	0.027 0.164	1.7 2.0	1.4 - 3.2	0.2 - 1.2	0.113g	50 d	
	16-10-25	35	34	0.022 0.150	0.025 0.185	1.8 2.1	1.4 - 3.3	0.1 - 1.2	0.090g	50 d	
	16-10-25	35	35	0.031 0.145	0.040 0.150	1.8 2.1	2.0 - 3.1	0.4 - 1.0	0.087g	50 d	
	16-10-25	35	35	0.034 0.096	0.031 0.111	1.4 2.2	2.1 - 3.0	0.7 - 0.8	0.040g	50 d	
ALMOHADA MEMORY FOAM (POLIURETANO FLEXIBLE VISCOELASTICO)	16-10-25	35	35	0.021 0.074	0.022 0.103	1.3 2.4	1.8 - 2.9	0.5 - 0.5	0.192g	50 d	
	16-10-25	35	35	0.022 0.154	0.024 0.173	1.5 2.6	1.7 - 2.3	0.2 - 0.7	0.138g	50 d	
	16-10-25	35	34	0.026 0.131	0.022 0.151	1.5 2.4	1.6 - 3.1	0.1 - 0.7	0.159g	50 d	
	16-10-25	35	34	0.031 0.089	0.034 0.169	1.3 2.4	2.4 - 2.9	1.1 - 0.5	0.185g	50 d	
	16-10-25	35	34	0.041 0.171	0.065 0.192	1.4 2.2	2.3 - 3.2	0.9 - 1.0	0.146g	50 d	

DATOS GENERALES DE LA LARVA ZOPHODAS MORIO									
FACULTAD	Ingeniería Ambiental								
APELLIDOS Y NOMBRES:	Falcón Bravo, Henry Alades								
UBICACIÓN:	Huánuco - Huánuco - Pillco Marca								
VARIABLE EVALUATIVA	Residuos de Poliuretano								
TRATAMIENTO	FECHA DE INICIO	FECHA FINAL	Contenido de Humedad (%)	Temperatura (°C)	Cantidad Inicial (g)	Consumo Final (g)	Variación en el consumo de Poliuretano (g)	Sustrato Producido	Porcentaje de degradación de Poliuretano (%)
SALVADO DE TRIGO	16-10-25	04-12-25	53	27.1	17.000	15.825	1.175	0.412	
	16-10-25	04-12-25			17.000	16.012	0.988	0.851	
	16-10-25	04-12-25			17.021	16.421	0.600	0.090	
	16-10-25	04-12-25			16.957	14.138	2.819	0.213	
	16-10-25	04-12-25			17.029	15.829	1.200	0.122	
	16-10-25	04-12-25							
ESPONJA DE LAVAJILLAS (POLIURETANO FLEXIBLE)	16-10-25	04-12-25	58	28.1	1.481	1.382	0.099	0.108	
	16-10-25	04-12-25			1.476	1.378	0.098	0.113	
	16-10-25	04-12-25			1.420	1.300	0.120	0.090	
	16-10-25	04-12-25			1.436	1.240	0.196	0.087	
	16-10-25	04-12-25			1.415	1.370	0.045	0.040	
	16-10-25	04-12-25							
ALMOHADA MEMORY FOAM (POLIURETANO FLEXIBLE VISCOELASTICO)	16-10-25	04-12-25	52	26.6	1.522	1.492	0.030	0.192	
	16-10-25	04-12-25			1.550	1.485	0.065	0.138	
	16-10-25	04-12-25			1.511	1.391	0.120	0.159	
	16-10-25	04-12-25			1.535	1.434	0.101	0.185	
	16-10-25	04-12-25			1.556	1.524	0.032	0.146	
	16-10-25	04-12-25							

ANEXO 22

TABLA EXCEL PARA PROCESADO DE DATOS DE ZOPHOBAS MORIO

DATOS GENERALES DE LA LARVA ZOPHOBAS MORIO																						
MUESTRA S	FECHA DE INICIO	CANTIDA D INICIAL DE LARVAS	CANTIDA D FINAL DE LARVAS	IDENTIFICACION DE LARVAS PEQUEÑAS (LP) Y LARVAS GRANDES (LG)	PESO INICIAL DE LARVAS (G)	PROMEDIO (G)	PESO FINAL DE LARVAS (G)	PROMEDIO (G)	TAMAÑO INICIAL DE LARVAS (CM)	PROMEDIO	TAMAÑO FINAL DE LARVAS (CM)	PROMEDIO	VARIACION DE TAMAÑO (CM)	PROMEDIO	EXCRETA PRODUCIDA (G)	PROMEDIO	TIEMPO DE ALIMENTACIÓN	FECHA FINAL				
SALVADO DE TRIGO	16/10/2025	35	33	L.PEQUEÑAS	0.018	0.061	0.028	0.062	1.5	2.200	1.9	2.500	0.4	0.300	0.412	0.338	50 DIAS	4/12/2025				
				L.GRANDES	0.104		0.096		2.9		3.1		0.2									
		35	35	L.PEQUEÑAS	0.024	0.087	0.028	0.083	1.4	2.000	1.9	2.500	0.5	0.500	0.851							
				L.GRANDES	0.149		0.137		2.6		3.1		0.5									
		35	35	L.PEQUEÑAS	0.031	0.119	0.034	0.153	1.6	2.050	2.1	2.850	0.5	0.800	0.090							
				L.GRANDES	0.206		0.271		2.5		3.6		1.1									
		35	35	L.PEQUEÑAS	0.034	0.097	0.044	0.109	1.4	1.900	2.1	2.650	0.7	0.750	0.213							
				L.GRANDES	0.160		0.174		2.4		3.2		0.8									
		35	35	L.PEQUEÑAS	0.032	0.074	0.024	0.082	1.5	1.850	1.8	2.550	0.3	0.700	0.123							
				L.GRANDES	0.116		0.139		2.2		3.3		1.1									
ESPONJA DE LAVAVAJILLAS (POLIURETANO FLEXIBLE)	16/10/2025	35	35	L.PEQUEÑAS	0.021	0.071	0.028	0.080	1.6	1.800	2.1	2.600	0.5	0.800	0.108	0.088			50 DIAS	4/12/2025		
				L.GRANDES	0.120		0.132		2.0		3.1		1.1									
		35	32	L.PEQUEÑAS	0.024	0.087	0.027	0.096	1.7	1.850	1.9	2.550	0.2	0.700	0.113							
				L.GRANDES	0.150		0.164		2.0		3.2		1.2									
		35	34	L.PEQUEÑAS	0.022	0.096	0.025	0.105	1.8	1.950	1.9	2.600	0.1	0.650	0.090							
				L.GRANDES	0.170		0.185		2.1		3.3		1.2									
		35	35	L.PEQUEÑAS	0.031	0.088	0.040	0.095	1.6	1.850	2.0	2.550	0.4	0.700	0.087							
				L.GRANDES	0.145		0.150		2.1		3.1		1.0									
		35	35	L.PEQUEÑAS	0.034	0.065	0.031	0.071	1.4	1.800	2.1	2.550	0.7	0.750	0.040							
				L.GRANDES	0.096		0.111		2.2		3.0		0.8									
ALMOHADA MEMORY FOAM (POLIURETANO FLEXIBLE VISCOELASTICO)	16/10/2025	35	35	L.PEQUEÑAS	0.021	0.050	0.022	0.061	1.3	1.850	1.8	2.350	0.5	0.500	0.192	0.164					50 DIAS	4/12/2025
				L.GRANDES	0.079		0.100		2.4		2.9		0.5									
		35	35	L.PEQUEÑAS	0.022	0.088	0.024	0.100	1.5	2.050	1.7	2.500	0.2	0.450	0.138							
				L.GRANDES	0.154		0.175		2.6		3.3		0.7									
		35	34	L.PEQUEÑAS	0.026	0.081	0.022	0.087	1.5	1.950	1.6	2.350	0.1	0.400	0.159							
				L.GRANDES	0.136		0.151		2.4		3.1		0.7									
		35	34	L.PEQUEÑAS	0.031	0.060	0.039	0.104	1.3	1.850	2.4	2.650	1.1	0.800	0.185							
				L.GRANDES	0.089		0.169		2.4		2.9		0.5									
		35	34	L.PEQUEÑAS	0.041	0.106	0.065	0.129	1.4	1.800	2.3	2.750	0.9	0.950	0.146							
				L.GRANDES	0.171		0.193		2.2		3.2		1.0									

DATOS SECUNDARIOS DE LA LARVA ZOPHOBAS MORIO													
TRATAMIENTO	FECHA DE INICIO	FECHA FINAL	Contenido de Humedad (%)	Temperatura (°C)	Cantidad Inicial de la preparación del salvado y los poliuretanos (g)	PROMEDIO	Residuo Final de la preparación del salvado y los poliuretanos (g)	PROMEDIO	Variación en el consumo de Poliuretano y salvado (g)	PROMEDIO	Sustrato Producido (g)	PROMEDIO	Porcentaje de biodegradación Eficiencia
SALVADO DE TRIGO	16/10/2025	4/12/2025	53	27.1	17.000	17.001	15.825	15.645	1.675	1.456	0.412	0.338	8.56
					17.000		16.012		0.988		0.851		
					17.021		16.421		0.600		0.090		
					16.957		14.138		2.819		0.213		
					17.029		15.829		1.200		0.123		
ESPONJA DE LAVAVAJILLAS (POLIURETANO FLEXIBLE)	16/10/2025	4/12/2025	58	28.1	1.481	1.446	1.382	1.334	0.099	0.112	0.108	0.088	7.75
					1.476		1.378		0.098		0.113		
					1.420		1.300		0.120		0.090		
					1.436		1.240		0.196		0.087		
					1.415		1.370		0.045		0.040		
ALMOHADA MEMORY FOAM (POLIURETANO FLEXIBLE VISCOELASTICO)	16/10/2025	4/12/2025	52	26.6	1.522	1.535	1.492	1.465	0.030	0.070	0.192	0.164	4.56
					1.550		1.485		0.065		0.138		
					1.511		1.391		0.120		0.159		
					1.535		1.434		0.101		0.185		
					1.556		1.524		0.032		0.146		

ANEXO 23

TABLA EXCEL PARA PROCESADO DE DATOS DE *TENEbrio MOLITOR*

DATOS GENERALES DE LA LARVA <i>TENEBRIO MOLITOR</i>																		
MUESTRAS	FECHA DE INICIO	CANTIDAD INICIAL DE LARVAS	CANTIDAD FINAL DE LARVAS	IDENTIFICACION DE LARVAS PEQUEÑAS (LP) Y LARVAS GRANDES (LG)	PESO INICIAL DE LARVAS (G)	PROMEDIO (G)	PESO FINAL DE LARVAS (G)	PROMEDIO (G)	TAMAÑO INICIAL DE LARVAS (CM)	PROMEDIO	TAMAÑO FINAL DE LARVAS (CM)	PROMEDIO	VARIACION DE TAMAÑO (CM)	PROMEDIO	EXCRETA PRODUCIDA (G)	PROMEDIO	TIEMPO DE ALIMENTACIÓN	FECHA FINAL
SALVADO DE TRIGO	16/10/2025	35	35	L.PEQUEÑAS	0.024	0.068	0.030	0.083	1.2	1.750	1.7	2.300	0.5	0.550	2.101	2.041	50 DIAS	4/12/2025
				L.GRANDES	0.111		0.135		2.3		2.9		0.6					
		35	35	L.PEQUEÑAS	0.026	0.062	0.029	0.068	1.1	1.750	1.7	2.250	0.6	0.500	2.435			
				L.GRANDES	0.098		0.106		2.4		2.8		0.4					
		35	33	L.PEQUEÑAS	0.031	0.065	0.019	0.066	0.9	1.500	1.7	2.350	0.8	0.850	1.929			
				L.GRANDES	0.098		0.113		2.1		3.0		0.9					
		35	34	L.PEQUEÑAS	0.040	0.071	0.041	0.070	1.1	1.550	2.1	2.450	1.0	0.900	1.998			
				L.GRANDES	0.102		0.099		2.0		2.8		0.8					
		35	32	L.PEQUEÑAS	0.026	0.069	0.049	0.082	0.8	1.500	2.1	2.600	1.3	1.200	1.744			
				L.GRANDES	0.112		0.114		2.2		3.1		1.1					
ESPONJA DE LAVAVAJILLAS (POLIURETANO FLEXIBLE)	16/10/2025	35	35	L.PEQUEÑAS	0.081	0.101	0.024	0.061	0.8	1.450	1.8	2.300	1.0	0.850	0.024	0.031	50 DIAS	4/12/2025
				L.GRANDES	0.121		0.097		2.1		2.8		0.7					
		35	35	L.PEQUEÑAS	0.026	0.067	0.025	0.060	0.9	1.400	1.8	2.250	0.9	0.850	0.033			
				L.GRANDES	0.108		0.094		1.9		2.7		0.8					
		35	34	L.PEQUEÑAS	0.029	0.059	0.029	0.057	0.8	1.400	1.8	2.150	1.0	0.750	0.020			
				L.GRANDES	0.089		0.084		2.0		2.5		0.5					
		35	34	L.PEQUEÑAS	0.021	0.064	0.026	0.052	0.8	1.400	1.8	2.300	1.0	0.900	0.038			
				L.GRANDES	0.107		0.078		2.0		2.8		0.8					
		35	35	L.PEQUEÑAS	0.030	0.071	0.029	0.059	0.9	1.500	1.8	2.100	0.9	0.600	0.040			
				L.GRANDES	0.111		0.088		2.1		2.4		0.3					
ALMOHADA MEMORY FOAM (POLIURETANO FLEXIBLE VISCOELASTICO)	16/10/2025	35	34	L.PEQUEÑAS	0.018	0.063	0.015	0.043	0.9	1.500	1.7	2.050	0.8	0.550	0.015	0.026	50 DIAS	4/12/2025
				L.GRANDES	0.108		0.071		2.1		2.4		0.3					
		35	35	L.PEQUEÑAS	0.026	0.072	0.024	0.045	1.0	1.500	1.8	2.050	0.8	0.550	0.026			
				L.GRANDES	0.118		0.066		2.0		2.3		0.3					
		35	35	L.PEQUEÑAS	0.031	0.065	0.022	0.046	0.8	1.500	1.8	2.100	1.0	0.600	0.034			
				L.GRANDES	0.099		0.069		2.2		2.4		0.2					
		35	33	L.PEQUEÑAS	0.040	0.080	0.028	0.054	1.1	1.650	1.7	2.100	0.6	0.450	0.025			
				L.GRANDES	0.119		0.079		2.2		2.5		0.3					
		35	35	L.PEQUEÑAS	0.032	0.077	0.023	0.044	1.2	1.750	1.7	2.050	0.5	0.300	0.031			
				L.GRANDES	0.121		0.064		2.3		2.4		0.1					

DATOS SECUNDARIOS DE LA LARVA <i>TENEbrio MOLITOR</i>													
TRATAMIENTO	FECHA DE INICIO	FECHA FINAL	Contenido de Humedad (%)	Temperatura (°C)	Cantidad Inicial de la preparación del salvado y los poliuretanos (g)	PROMEDIO	Residuo Final de la preparación del salvado y los poliuretanos (g)	PROMEDIO	Variación en el consumo de Poliuretano y salvado (g)	PROMEDIO	Sustrato Producido (g)	PROMEDIO	Porcentaje de biodegradación Eficiencia
SALVADO DE TRIGO	16/10/2025	4/12/2025	52	28.5	16.995	16.976	14.424	15.296	2.571	1.680	2.101	2.041	9.90
					17.000		16.121		0.879		2.435		
					16.940		16.041		0.899		1.929		
					16.988		15.704		1.284		1.998		
					16.957		14.189		2.768		1.744		
ESPONJA DE LAVAVAJILLAS (POLIURETANO FLEXIBLE)	16/10/2025	4/12/2025	51	26.4	1.533	1.408	1.408	1.287	0.125	0.121	0.024	0.031	8.59
					1.392		1.279		0.113		0.033		
					1.382		1.261		0.121		0.020		
					1.326		1.204		0.122		0.038		
					1.409		1.285		0.124		0.040		
ALMOHADA MEMORY FOAM (POLIURETANO FLEXIBLE VISCOELASTICO)	16/10/2025	4/12/2025	53	25.6	1.537	1.532	1.461	1.422	0.076	0.110	0.015	0.026	7.18
					1.551		1.471		0.080		0.026		
					1.512		1.437		0.075		0.034		
					1.557		1.328		0.229		0.025		
					1.502		1.413		0.089		0.031		

ANEXO 24

PANEL FOTOGRÁFICO

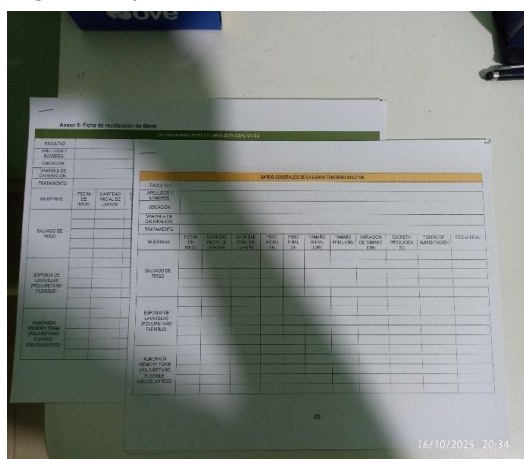
INICIO DE PROYECTO



Fotografía 1: Preparación del área de trabajo y disposición de materiales para el registro experimental.



Fotografía 2: Verificación y calibración de la balanza digital utilizada para las mediciones de masa.



Fotografía 3: Registro de fichas de control y hojas de campo para el seguimiento del experimento.



Fotografía 4: Acondicionamiento de las larvas



Fotografía 5: Organización del área experimental y disposición de los módulos de cría larvaria.



Fotografía 6: Pesaje inicial del sustrato alimenticio previo a su aplicación en los módulos experimentales.



Fotografía 7: Pesaje previo a su aplicación en los módulos experimentales.



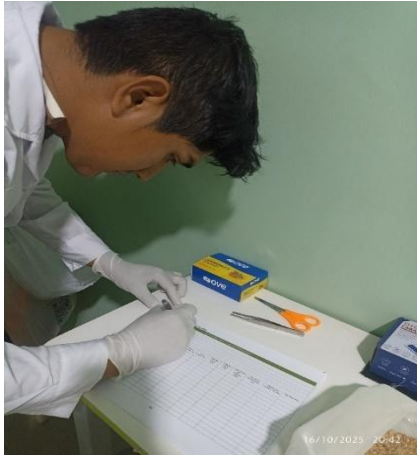
Fotografía 8: Verificación del peso mediante balanza digital durante el procedimiento experimental.



Fotografía 9: Manipulación y preparación del material experimental por el investigador durante el proceso de evaluación.



Fotografía 10: Registro visual y documental del procedimiento experimental y control de datos.



Fotografía 11: Anotación de datos experimentales en la hoja de registro durante el desarrollo del ensayo.



Fotografía 12: Identificación y registro del sustrato alimenticio utilizado en el experimento (salvado de trigo).



Fotografía 13: Preparación de la balanza digital para el pesaje del material experimental.



Fotografía 14: Lectura y verificación del peso en la balanza digital.



Fotografía 15: Manipulación del residuo de poliuretano durante el proceso de medición experimental.



Fotografía 16: Pesaje del residuo de poliuretano previo a su aplicación en los módulos experimentales.



Fotografía 17: Registro del peso del residuo de poliuretano mediante balanza digital.



Fotografía 18: Aplicación del sustrato alimenticio en el módulo experimental para el desarrollo larvario.



Fotografía 19: Preparación del equipo de medición y disposición de instrumentos para el pesaje del material experimental.



Fotografía 20: Verificación del funcionamiento y calibración de la balanza digital previo al pesaje.



Fotografía 21: Preparación del material de poliuretano destinado como sustrato complementario del experimento.



Fotografía 22: Acondicionamiento del residuo de poliuretano tipo espuma previo al proceso experimental.



Fotografía 23: Pesaje de fragmentos de residuo de poliuretano utilizando balanza digital.



Fotografía 24: Registro del peso de los fragmentos de residuo de poliuretano previo a su aplicación en los módulos experimentales.



Fotografía 25: Colocación del residuo de poliuretano tipo almohada viscoelástica en el módulo experimental.



Fotografía 26: Identificación del tratamiento correspondiente a almohada memory foam (espuma viscoelástica) en los módulos experimentales.



Fotografía 27: Pesaje del residuo de poliuretano tipo espuma previo a su distribución en los módulos experimentales.



Fotografía 28: Distribución de larvas en los módulos experimentales según tratamiento evaluado.



Fotografía 29: Organización de los tratamientos experimentales: salvado de trigo, esponja de lavavajillas y almohada viscoelástica.



Fotografía 30: Vista general del montaje experimental y disposición final de los módulos durante el periodo de evaluación.



Fotografía 31: Distribución de los residuos de poliuretano y sustratos en los módulos experimentales durante el periodo de evaluación.



Fotografía 32: Identificación y comparación visual de los tratamientos experimentales: salvado de trigo, esponja de lavavajillas y almohada memory foam (espuma viscoelástica).



Fotografía 33: Monitoreo de las condiciones del módulo experimental y control ambiental durante el desarrollo del experimento.

LARVAS *Tenebrio molitor* CAMBIANDO DE PIEL



Fotografía 34: Proceso de muda (ecdisis) en larvas de *Tenebrio molitor* durante el periodo experimental, esponja de lavavajillas y almohada viscoelástica.



Fotografía 35: Detalle de larvas de *Tenebrio molitor* en etapa de cambio de piel sobre residuo de poliuretano, evidenciando actividad biológica durante el experimento.

LARVAS *Zophobas morio* CAMBIANDO DE PIEL



Fotografía 36: Proceso de muda (ecdisis) en larvas de *Zophobas morio* durante el periodo experimental.

PESADO Y MEDICION DE *TENEBRIO MOLITOR* DESDE EL MAS PEQUEÑO AL MAS GRANDE



Fotografía 37: Pesaje individual de larvas de *Tenebrio molitor* para la evaluación del peso corporal durante el experimento.



Fotografía 38: Medición del tamaño corporal de larvas de *Tenebrio molitor* mediante regla milimétrica.



Fotografía 39: Pesaje individual de larva de *Tenebrio molitor* en balanza digital de precisión.



Fotografía 40: Medición del tamaño corporal de larva de *Tenebrio molitor* mediante regla milimetrada.



Fotografía 41: Registro del peso corporal de larva de *Tenebrio molitor*.



Fotografía 42: Medición longitudinal del tamaño corporal de larva de *Tenebrio molitor* utilizando regla milimetrada.



Fotografía 43: Pesaje de larva de *Tenebrio molitor*.



Fotografía 44: Medición del tamaño corporal de larva de *Tenebrio molito*.

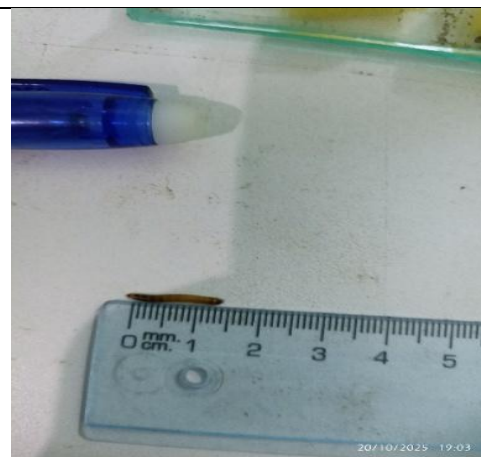


Fotografía 45: Pesaje y manipulación del sustrato alimenticio durante el desarrollo del experimento con larvas.



Fotografía 46: Aplicación y control del sustrato en los módulos experimentales durante el proceso de evaluación.

PESADO Y MEDICION DE *ZOPHOBAS MORIO* DESDE EL MAS PEQUEÑO AL MAS GRANDE



Fotografía 47: Pesaje individual de larva de ***Zophobas morio*** correspondiente al estado inicial de desarrollo.



Fotografía 48: Medición del tamaño corporal de larva de ***Zophobas morio*** en estado inicial utilizando regla milimétrica.



Fotografía 49: Registro del peso corporal de larva de ***Zophobas morio*** en estado intermedio de desarrollo.



Fotografía 50: Medición longitudinal del tamaño corporal de larva de ***Zophobas morio*** en estado intermedio mediante regla milimetrada.



Fotografía 51: Pesaje de larva de ***Zophobas morio***



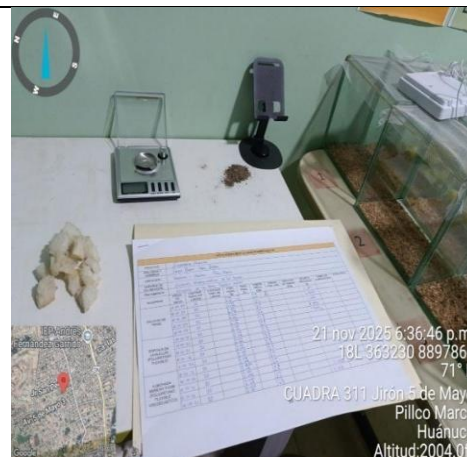
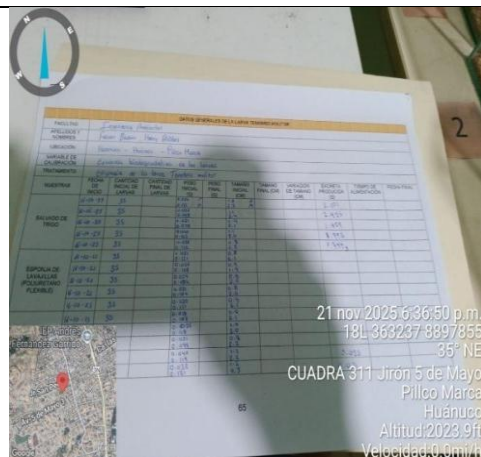
Fotografía 52: Medición del tamaño corporal de larva de ***Zophobas morio*** utilizando regla milimetrada.



Fotografía 53: Pesaje y manipulación del sustrato alimenticio durante el seguimiento del experimento en los módulos de cría larvaria.

Fotografía 54: Monitoreo de las condiciones ambientales (temperatura y humedad) en los módulos experimentales mediante termohigrómetro digital.

FOTOS SEMANALES SEGÚN FECHA EN LAS FOTOS



Fotografía 55: Registro de datos experimentales en la hoja de control durante el desarrollo del ensayo.

Fotografía 56: Verificación y contraste de los registros experimentales con los materiales y equipos utilizados.



Fotografía 57: Auto registro fotográfico del investigador durante el desarrollo del experimento y control de los módulos experimentales.

PESADO DE HECES



Fotografía 58: Pesaje de excretas larvarias en balanza digital de precisión como parte del control de la eficiencia biodegradativa.



Fotografía 59: Verificación del peso de excretas larvarias mediante balanza digital durante el procedimiento experimental.



Fotografía 60: Vista superior del recipiente de pesaje con excretas larvarias recolectadas para su medición.



Fotografía 61: Observación de larvas asociadas a la presencia de excretas durante el periodo experimental.



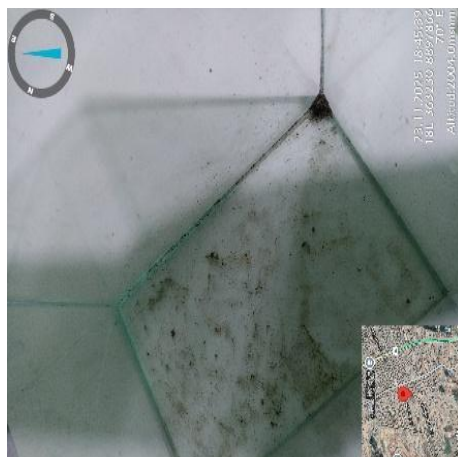
Fotografía 62: Registro del procedimiento de recolección y pesaje de excretas larvarias en el área experimental.



Fotografía 63: Detalle de las excretas larvarias acumuladas tras el periodo de alimentación experimental.



Fotografía 64: Pesaje final de excretas larvarias en balanza digital de precisión para la determinación de la eficiencia biodegradativa.



Fotografía 65: Vista interna del módulo experimental posterior a la recolección de excretas, evidenciando residuos remanentes del proceso larvario.

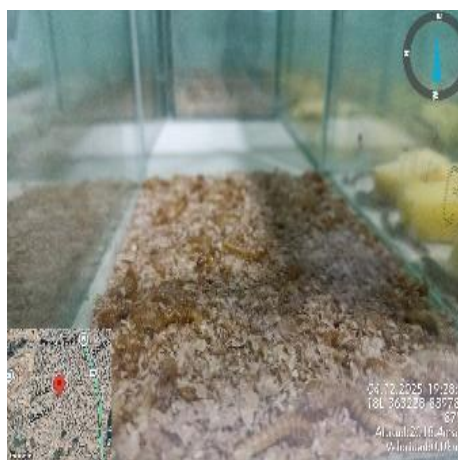
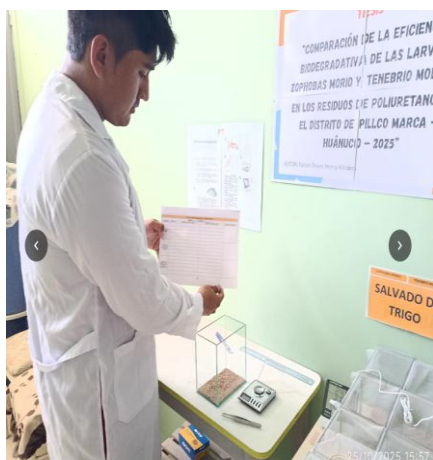
PIEL MUERTA DE LAS LARVAS



Fotografía 66: Observación y recolección.



Fotografía 67: Manipulación individual de larva mediante pinza durante el proceso de inspección y control experimental.



Fotografía 68: Recolección y acondicionamiento del material experimental para el pesaje y registro final de datos.

Fotografía 69: Vista general del módulo experimental con acumulación de excretas posterior al periodo de alimentación.

POLIURETANO BIODEGRADADO POR LAS LARVAS



Fotografía 70: Fragmentación y modificación superficial del poliuretano tras el proceso de biodegradación por acción larvaria.



Fotografía 71: Comparación visual de fragmentos de poliuretano biodegradado en distintos módulos experimentales.



Fotografía 72: Detalle de poliuretano con cavidades y perforaciones generadas durante el consumo larvario.



Fotografía 73: Vista interna del módulo experimental evidenciando la alteración estructural del poliuretano.



Fotografía 74: Registro documental del cierre del experimento y consolidación de datos finales.



Fotografía 75: Vista general del montaje experimental al término del periodo de evaluación.



Fotografía 76: Detalle de fragmento de poliuretano con evidencia de consumo larvario y pérdida de integridad estructural.



Fotografía 77: Comparación entre fragmentos de poliuretano antes y después del proceso de biodegradación.



Fotografía 78: Observación directa de larvas asociadas a fragmentos de poliuretano durante la fase final del experimento.



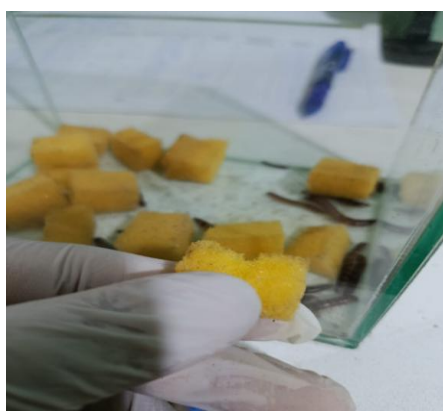
Fotografía 79: Inspección manual de fragmento de poliuretano con presencia de porosidad producto del consumo larvario.



Fotografía 80: Detalle de fragmento de poliuretano con degradación visible y residuos biológicos adheridos.



Fotografía 81: Comparación visual entre fragmentos de poliuretano biodegradado y remanentes del material original.



Fotografía 82: Detalle de fragmento de poliuretano biodegradado con pérdida de integridad estructural y porosidad superficial tras el tratamiento larvario.



Fotografía 83: Observación comparativa de fragmento de poliuretano con cavidades internas visibles, atribuibles al proceso de consumo larvario durante el periodo experimental.

VISITA DEL ASESOR Y UNA JURADO



Fotografía 84: Visita del asesor de tesis, Mg. Milton Morales Aquino, al área experimental para la verificación del montaje, los tratamientos aplicados y el desarrollo del experimento.



Fotografía 85: Visita del jurado evaluador, Mg. Verenisa Condezo Beteta, al área experimental para la constatación del procedimiento, la organización de los módulos y el avance del experimento.
