

PROVEIDO 001366-2026-UNH/FCI

EXPEDIENTE : 2026-0014611

ASUNTO: DESIGNACIÓN DE ASESOR, APROBACIÓN E INSCRIPCIÓN DE PROYECTO DE TESIS, MEDIANTE ACTO RESOLUTIVO, A FAVOR DE: GERYMI SIMEON QUISPE GONZALES y YOSHI LISZETH INGA HUAROCC

REFERENCIA : OFICIO N° 000410-2026-EPIAS DESIGNACIÓN DE ASESOR, APROBACIÓN E INSCRIPCIÓN DE PROYECTO DE TESIS, MEDIANTE ACTO RESOLUTIVO

FECHA

31/07/2026

Atender en 0 días

SANCHEZ ARAUJO VICTOR GUILLERMO
DECANO(A)



UNIVERSIDAD NACIONAL DE
HUANCVELICA

ESCUELA PROFESIONAL DE
INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA



Firmado digitalmente por DUEÑAS
JURADO Carlos FAU 20168014962
soft
Cargo: Director(A) De Escuela
Profesional
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 30.07.2026 20:39:16 -05:00

"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres"
"Año de la Esperanza y el Fortalecimiento de la Democracia"

Huancavelica, 30 de Julio del 2026

OFICIO N° 000410-2026-UNH/EPIAS

Señor (a):

VICTOR GUILLERMO SANCHEZ ARAUJO
DECANO(A)

Presente. -

**Asunto: DESIGNACIÓN DE ASESOR, APROBACIÓN E INSCRIPCIÓN DE
PROYECTO DE TESIS, MEDIANTE ACTO RESOLUTIVO.**

Referencia: INFORME 000012-2026-UNH/DAIAS (22JUL2026)

De mi consideración:

Es grato dirigirme a usted, para hacerle llegar el saludo cordial a nombre de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Sanitaria y el mío propio, en atención al documento de la referencia, solicito aprobación mediante acto resolutivo la designación de Asesor, Aprobación e Inscripción de Proyecto de Tesis, el cual adjunto al presente los documentos de la referencia:

ASESOR:

Dr. JORGE LUIS HUERE PEÑA

PROYECTO DE TESIS:

**"CAPACIDAD DE BIODEGRADACIÓN DE TERMOPLÁSTICOS MEDIANTE EL USO DE
INSECTOS DETRITÍVOROS EN CONDICIONES DE ENTORNO CONTROLADO"**

PRESENTADO POR:

GERYMI SIMEON QUISPE GONZALES

YOSHI LISZETH INGA HUAROCC

Hago propicia la oportunidad para expresarle el testimonio de mi especial consideración y estima personal.

Atentamente,

Documento Firmado Digitalmente

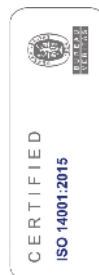
CARLOS DUEÑAS JURADO
DIRECTOR(A) DE ESCUELA PROFESIONAL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA

CDJ/hcq
cc.:

N° Expediente: 2026-0014611



"Esta es una copia auténtica imprimible de un documento electrónico archivado por la Universidad Nacional de Huancavelica, aplicando lo dispuesto por el Art. 25 de D.S. 070-2013-PCM y la Tercera Disposición Complementaria Final del D.S. 026-2016-PCM".
Su autenticidad e integridad pueden ser contrastadas a través.
Dirección web: <https://sgd.unh.edu.pe:8181/verifica/inicio.do>
Código de Verificación: 2SSYS1D





"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres"
"Año de la Esperanza y el Fortalecimiento de la Democracia"

Huancavelica, 22 de Julio del 2026

INFORME N° 000012-2026-UNH/DAIAS

A: **CARLOS DUEÑAS JURADO**
DIRECTOR(A) DE ESCUELA PROFESIONAL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA

ASUNTO: **Informe de revisión de Proyecto de Tesis de: Gerymi Simeon Quispe Gonzales y Yoshi Liszeth Inga Huarocc**

Referencia: MEMORANDO 000031-2026-UNH/EPIAS (7 JUL 2026)

Fecha elaboración: Huancavelica, 22 de Julio de 2026

Tengo el agrado de dirigirme a usted, para saludarlo muy cordialmente e informo lo siguiente:

Que según el memorando de la referencia se me designa como asesor para revisión de proyecto de tesis titulado **"Capacidad de biodegradación de termoplásticos mediante el uso de insectos detritívoros en condiciones de entorno controlado"** de los estudiantes:

- Gerymi Simeon Quispe Gonzales
- Yoshi Liszeth Inga Huarocc

Que habiendo culminado el proceso de evaluación respectiva remito informe por lo que adjunto al presente los siguientes documentos

- Informe de revisión de proyecto
- ANEXO 02. Ficha de revisión de proyecto
- Proyecto aprobado

Sin otro particular es propicia la ocasión para hacerle llegar las muestras de mi especial consideración.

Atentamente,

Documento Firmado Digitalmente

JORGE LUIS HUERE PEÑA
DIRECTOR(A) DE DEPARTAMENTO ACADÉMICO
DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA

JHP
cc.:

N° Expediente: 2026-0014611



"Esta es una copia auténtica imprimible de un documento electrónico archivado por la Universidad Nacional de Huancavelica, aplicando lo dispuesto por el Art. 25 de D.S. 070-2013-PCM y la Tercera Disposición Complementaria Final del D.S. 026-2016-PCM".
Su autenticidad e integridad pueden ser contrastadas a través.
Dirección web: <https://sgd.unh.edu.pe:8181/verifica/inicio.do>
Código de Verificación: ZFRTWJS



	Reglamento de grados y títulos de la Universidad Nacional de Huancavelica	Código:	RE-VRAC-PO01-1-1
		Versión:	1
		Página:	Página 63 de 95

Anexo 02

Ficha de evaluación de proyecto de tesis/trabajo de investigación/trabajo académico



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA

(Creada por ley N° 25265)

FACULTAD DE CIENCIA DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA

FICHA DE EVALUACIÓN DE PROYECTO DE TESIS/TRABAJO DE INVESTIGACIÓN/TRABAJO ACADÉMICO

Título del proyecto	“Capacidad de biodegradación de termoplásticos mediante el uso de insectos detritívoros en condiciones de entorno controlado”
Investigadores	- Gerymi Simeon Quispe Gonzales - Yoshi Lizabeth Inga Huarocc
Asesor(a)	Dr. Jorge Luis Huere Peña

INCOMPLETO (1)	BUENO (2)	MUY BUENO (3)
----------------	-----------	---------------

TITULO		ESCALA		
		1	2	3
1	El título presenta: claridad, precisión y coherencia (mínimo 15 y máximo 20 palabras)			X
2	Delimitación adecuada			X
CAPÍTULO I. EL PROBLEMA				
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA		1	2	3
3	Delimita y contextualiza el problema.		X	
4	La redacción del planteamiento del problema es coherente.			X
5	Argumentación con referencias bibliográficas.		X	
FORMULACIÓN DEL PROBLEMA		1	2	3
6	La formulación del problema está redactada con claridad y precisión.		X	
7	El problema presenta variable(s) y tiene relación con el título.		X	
8	Los problemas específicos se relacionan con el problema general.		X	
OBJETIVOS		1	2	3
9	El objetivo general evidencia el propósito del estudio			X
10	Los objetivos específicos se derivan del objetivo general y son factibles de alcanzar.		X	
11	Los objetivos responden al problema de investigación.			X
JUSTIFICACIÓN		1	2	3
12	Se exponen las razones ¿por qué?, ¿para qué? y la viabilidad del estudio.			X

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO						
ANTECEDENTES				1	2	3
13	Presenta los antecedentes y los integra en relación con el problema de investigación.					X
14	En los antecedentes se mencionan el problema, objetivo(s), metodología, población, resultados y conclusiones.				X	
BASES TEÓRICAS				1	2	3
15	La organización de las bases teóricas es coherente y corresponde a las variables de estudio.					X
16	Las bases teóricas fundamentan las variables de estudio.					X
DEFINICIÓN DE TÉRMINOS				1	2	3
17	Define los conceptos más relevantes del estudio.				X	
18	Utiliza 10 conceptos como mínimo con fuentes en orden alfabético.					X
HIPÓTESIS				1	2	3
19	La hipótesis se enuncia de manera clara y precisa.	Proyectos de investigación que consideren hipótesis, se califica y se otorga el puntaje correspondiente	Proyectos de investigación que no consideren hipótesis, se asigna la máxima puntuación			X
20	Si no plantea hipótesis las investigaciones tecnológicas obtienen la ponderación máxima					X
21	La hipótesis responde al problema de investigación.					X
VARIABLES				1	2	3
22	Identifica(n) con precisión la(s) variable(s) de estudio					X
OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES				1	2	3
23	La operacionalización presenta definición conceptual y operacional de la(s) variable(s) o también presenta dimensiones (si es pertinente), indicadores, ítems o instrumentos.				X	
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA				1	2	3
24	Identifica el ámbito de estudio.				X	
25	Selecciona y fundamenta el tipo y nivel de investigación.				X	
26	Existe correspondencia entre nivel y diseño de investigación.				X	
27	Señala la población y muestra de estudio.	Proyectos de investigación que consideren hipótesis, se califica y se otorga el puntaje correspondiente	Proyectos de investigación que no consideren hipótesis, se asigna la máxima puntuación		X	
28	Selecciona y fundamenta el tipo de muestreo a utilizar.					X
29	Selecciona y fundamenta las técnicas e instrumentos a utilizar en el estudio.					X
30	Precisa los procedimientos para la recolección de datos.				X	
31	Especifica y fundamenta la(s) técnica(s) y procedimientos estadísticos(s) para el análisis de datos.					X
CAPÍTULO IV: ASPECTO ADMINISTRATIVO				1	2	3
32	Se señala el recurso humano y los recursos materiales y equipos					X
33	El presupuesto, financiamiento y cronograma de actividades son coherentes.					X
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS				1	2	3
34	Las citas y referencias se corresponden con el estilo de redacción.					X
35	Todas las citas están referenciadas y validadas.					X

ANEXOS		1	2	3
36	La matriz de consistencia expresa la relación del problema, objetivos, hipótesis, variables y metodología de estudios.		X	



CONTEO TOTAL DE MARCAS (realice el conteo de marcas en cada una de las tres categorías de la escala y anote)			1 5	2 1
		A	B	C

$$Puntaje\ Total = 1(A) + 2(B) + 3(C) = 1(0) + 2(15) + 3(21) = 93$$

Para el resultado final, ubicar el puntaje obtenido en la siguiente tabla:

RESULTADO	INTERVALO
Desaprobado	[1 – 36]
Replantear	(36 – 72]
Aprobado	(72 – 108]

Nombre del asesor: Dr. Jorge Luis Huere Peña

Huancavelica, 22 de julio de 2026



Firmado digitalmente por HUERE
PENÁ Jorge Luis FAU 20168014962
soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 22.07.2026 21:18:10 -05:00

Dr. Jorge Luis Huere Peña

Asesor

Nota:

* Con dos veces desaprobado se cambia automáticamente nuevo proyecto de investigación.

** El presente formato de acta es flexible, debiendo contener mínimamente la información descrita.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCABELICA

(Creada por Ley N° 25265)

FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA



PROYECTO DE TESIS

**“Biodegradación de termoplásticos mediante el uso de insectos
detritívoros en condiciones de entorno controlado”**

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

**CIENCIAS DE LA CONSTRUCCIÓN, MINERÍA Y MEDIO AMBIENTE
SOSTENIBLE**

SUB LINEA

BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

PRESENTADO POR:

Gerymi Simeon Quispe Gonzales

Yoshi Liszeth Inga Huarocc

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AMBIENTAL Y SANITARIO

HUANCABELICA, PERÚ

2026

ÍNDICE

ÍNDICE	2
TÍTULO	5
AUTORES	6
CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	7
1.1 Planteamiento del problema	7
1.2 Formulación del problema.....	10
1.2.1 Problema general.....	10
1.2.2 Problemas específicos	10
1.3 Objetivos	10
1.3.1 Objetivo general	10
1.3.2 Objetivos específicos	11
1.4 Justificación.....	11
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO	12
2.1 Antecedentes	12
2.1.1 Internacional.....	12
2.1.2 Nacional	15
2.1.3 Local.....	18
2.2 Bases teóricas	18
2.2.1 Distribución de termoplásticos en el mundo.....	18

2.2.2	Los termoplásticos en los países latinoamericanos	20
2.2.3	Características de los termoplásticos	21
2.2.4	Métodos de tratamiento de plástico.....	22
2.2.5	Biodegradación de plásticos.....	24
2.2.6	Teoría de la evolución de las especies	28
2.2.7	Marco biológico	29
2.2.8	Tipos de insectos que degradan plástico	35
2.2.9	Mecanismos de degradación de plásticos por insectos	37
2.2.10	Importancia de las larvas como tecnología degradadora de plástico ...	38
2.3	Definición de términos	40
2.4	Hipótesis.....	42
2.5	Variables.....	42
2.5.1	Variable independiente.....	42
2.5.2	Variable dependiente.....	42
2.6	Operacionalización de variables.....	43
CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS		44
3.1	Ámbito temporal y espacial.....	44
3.2	Métodos de Investigación.....	44
3.2.1	Tipo de investigación	45
3.2.2	Nivel de investigación.....	45

3.2.3	Diseño de investigación	45
3.3	Población y muestra	46
3.3.1	Población.....	46
3.3.2	Muestra.....	46
3.4	Técnicas, instrumentos y procedimientos para recolección de datos	47
3.4.1	Técnica	47
3.4.2	Instrumento	47
3.4.3	Procedimientos para recolección de datos	48
3.5	Técnicas de procesamiento y análisis de datos.....	61
CAPÍTULO IV ASPECTO ADMINISTRATIVO		62
4.1	Recurso humano	62
4.2	Materiales y equipos.....	62
4.3	Cronograma de actividades	66
4.4	Presupuesto.....	68
4.5	Financiamiento	72
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		73
ANEXOS		87
MATRIZ DE CONSISTENCIA		88

TÍTULO

“Biodegradación de termoplásticos mediante el uso de insectos detritívoros en
condiciones de entorno controlado”

AUTORES

Gerymi Simeon, QUISPE GONZALES

ORCID: 0009-0009-0759-3455

Yoshi Lizabeth, INGA HUAROCC

ORCID: 0009-0003-3775-4615

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del problema

A nivel mundial se producen más de 350 millones de toneladas de plástico al año; sin embargo, solo alrededor del 6 % es reciclado, mientras que la mayor parte se desecha sin un manejo adecuado (Liu et al., 2024). Esta situación se agrava por la alta resistencia a la degradación de muchos polímeros, cuyos tiempos de permanencia en el ambiente pueden extenderse por siglos. El polipropileno (PP) persiste entre 200 y 450 años, el poliestireno expandido (EPS) entre 500 y 1000 años y el polietileno de baja densidad (PELD) entre 150 y 500 años. En consecuencia, estos materiales se acumulan progresivamente en ecosistemas acuáticos (Jambeck et al., 2015) y terrestres (Nizzetto et al., 2016), generando impactos negativos sobre los ecosistemas (Amaral-Zettler et al., 2020) y representando un riesgo para la salud humana (Galloway et al., 2017).

Diversas investigaciones han evidenciado que los plásticos están compuestos principalmente por polímeros de carbono e hidrógeno, junto con otros elementos como nitrógeno, cloro, oxígeno y azufre (Govind, 2023). No obstante, tanto su producción como su uso contribuyen a la contaminación ambiental y representan un riesgo para la salud pública, debido a la presencia de

compuestos químicos tóxicos como el óxido de etileno, el benceno y los xilenos (Gautam & Caetano, 2017). La exposición a estas sustancias se ha asociado con el desarrollo de enfermedades graves, entre ellas cáncer, alteraciones del sistema nervioso, inmunológico y hematológico, así como afecciones renales (Folkman, 1995; Thompson et al., 2009). En este contexto, la Organización Mundial de la Salud ha enfatizado la urgencia de impulsar el desarrollo y la implementación de tecnologías ambientalmente sostenibles.

Estudios realizados en países de Asia y Norteamérica han identificado a plásticos como el polietileno (PE), polipropileno (PP) (Naidu et al., 2018), cloruro de polivinilo (PVC), tereftalato de polietileno (PET), poliuretano (PUR) y poliestireno (PS) (Fossi et al., 2014; Wu et al., 2019) como contaminantes presentes en los intestinos de invertebrados, incluidos peces, cangrejos, mejillones y lombrices, así como en algunos vertebrados como tortugas, vacunos, aves, focas y osos polares (Ivar do Sul et al., 2014; Choy et al., 2019; Clere et al., 2022). La ingestión de estos plásticos provoca diversos efectos toxicológicos, tales como inhibición del crecimiento, alteraciones metabólicas, respuestas inflamatorias, problemas reproductivos e incluso la muerte (Lei et al., 2018; Thomas et al., 2021). Desde este contexto, la presencia masiva de plásticos en los ecosistemas representa un problema emergente de gran relevancia para la salud pública y ambiental.

Por otro lado, los termoplásticos afectan directamente a las plantas agrícolas, inhibiendo su crecimiento, disminuyendo la biomasa, generando estrés oxidativo, alterando la asimilación de nutrientes y provocando anomalías citogenéticas (Kalčíková et al., 2017; Jiang et al., 2019; Giorgetti et al., 2020; Li et al., 2021; Yang y Gao, 2022), lo que se traduce en importantes pérdidas económicas para los productores (Xu et al., 2023; Zhang et al., 2019).

Existen diversos métodos físico-químicos para el tratamiento de plásticos, entre ellos la pirólisis, la termodegradación y la oxidación química. No obstante, estos procesos suelen ser costosos y pueden generar impactos negativos, ya que producen subproductos tóxicos como dioxinas, furanos, gases

volátiles y partículas finas, los cuales representan un riesgo para el medio ambiente y la salud pública, especialmente cuando no se aplican bajo controles estrictos (Verma, 2016). En este contexto, resulta indispensable promover el desarrollo y la implementación de tecnologías más seguras y ambientalmente sostenibles.

En Perú, se generan aproximadamente 950 mil toneladas de plásticos al año, siendo Lima y Callao los departamentos con mayor producción, con cerca de 886 toneladas diarias. Sin embargo, solo el 1 % de estos residuos es reciclado, mientras que el resto termina en botaderos, ríos, lagos, campos agrícolas y océanos, donde puede tardar siglos en degradarse, afectando la fauna marina, la ganadería, la agricultura, la salud pública y la economía (Oceana, 2024).

Asimismo, la ONU (2024) indica que Perú es uno de los países con mayor consumo de seis tipos de plásticos: polietileno (PE) 31,3 %, polipropileno (PP) 19,7 %, cloruro de polivinilo (PVC) 9,6 %, tereftalato de polietileno (PET) 8,4 %, poliuretano (PUR) 7,8 % y poliestireno (PS) 6,1 %. Se estima que entre el 60 % y el 90 % de los residuos plásticos terminan en los océanos, cifra que podría duplicarse para 2030 (Oceana, 2024). Ante esta situación, se recomienda el desarrollo de nuevas tecnologías capaces de degradar los plásticos sin causar impactos negativos en el medio ambiente (Ali et al., 2021; Siddiqui et al., 2024).

Desde 2015, diversas investigaciones han identificado larvas capaces de degradar plásticos mediante la producción de enzimas como esterasas y arilamidas. Entre estas especies se encuentran *Tenebrio molitor* (Yang et al., 2015; 2018; 2020), *Tenebrio obscurus* (Peng et al., 2019), *Zophobas atratus*, *Protaetia brevitarsis*, *Plodia interpunctella* (Wo et al., 2020), *Galleria mellonella* (LeMoine et al., 2020) y *Achroia grisella*. Estas enzimas están estrechamente relacionadas con la degradación de termoplásticos; sin embargo, la ruta exacta de biotransformación de los polímeros aún no se comprende completamente (Li et al., 2024; Przemieniecki et al., 2020; Rodríguez et al., 2021). Por ello, se requiere investigación adicional para validar científicamente la capacidad biodegradadora en relación a la biomasa, tiempo, condiciones ambientales de

especies como *Blaptica dubia*, *Tenebrio molitor*, y *Zophoba morio* lo que podría representar una solución prometedora frente a la acumulación global de residuos plásticos en el Perú y se pueden extrapolar para los países latinoamericanos.

Considerando la gravedad de los residuos plásticos para el ambiente, la fauna, la salud y la economía, así como el potencial de tecnologías biodegradadoras basadas en insectos, se plantea el enunciado de la investigación. El estudio busca validar científicamente métodos sostenibles e innovadores para la degradación de plásticos, proporcionando un marco integral que considere impactos ambientales, viabilidad tecnológica y aplicación práctica.

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Problema general

¿Cuál es la capacidad de biodegradación de termoplásticos por insectos detritívoros en condiciones de entorno controlado?

1.2.2 Problemas específicos

¿Cuál es la capacidad de biodegradación del polipropileno (PP), poliestireno expandido (EPS) y polietileno de baja densidad (LDPE) por las especies *Blaptica dubia*, *Tenebrio molitor* y *Zophobas morio*?

¿Cómo influye la biomasa de los insectos en la eficiencia de biodegradación de polipropileno (PP), poliestireno expandido (EPS) y polietileno de baja densidad (LDPE)?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

- Evaluar la capacidad de biodegradación de termoplásticos mediante el uso de la cucaracha *Blaptica dubia* y las larvas de *Tenebrio molitor* y *Zophobas morio*, bajo condiciones controladas de laboratorio.

1.3.2 Objetivos específicos

- Determinar la capacidad de biodegradación del polipropileno (PP), poliestireno expandido (EPS) y polietileno de baja densidad (LDPE) por las especies *Blaptica dubia*, *Tenebrio molitor* y *Zophobas morio*.
- Evaluar la influencia de la densidad de los insectos en la biodegradación de polipropileno (PP), poliestireno expandido (EPS) y polietileno de baja densidad (LDPE).

1.4 Justificación

Los plásticos constituyen importantes contaminantes y representan una amenaza significativa tanto para los ecosistemas como para la salud humana, debido a su lenta degradación y su relación con diversas enfermedades. En este contexto, la presente investigación se justifica desde tres perspectivas:

A nivel teórico: El estudio busca aportar conocimiento sobre el comportamiento de la *Blaptica dubia* y las larvas *Tenebrio molitor* y *Zophobas morio* en el proceso de biodegradación de termoplásticos. Se pretende profundizar en los mecanismos de digestión simbiótica en condiciones controladas, evaluando su capacidad para promover resiliencia ecológica.

A nivel práctico y social: La investigación ofrece alternativas sostenibles, económicas y aplicables al manejo de residuos sólidos, mediante el uso de estas especies como agentes bioadegradadores. Este enfoque podría convertirse en una solución biotecnológica de bajo costo para la reducción de plásticos, tanto en comunidades locales como en Instituciones Públicas que carecen de tecnologías avanzadas de reciclaje.

A nivel metodológico: El estudio propone una metodología replicable y adaptable a distintos contextos y escalas, ampliando su aplicabilidad en investigaciones futuras. Este enfoque no solo permite validar empíricamente el potencial de estas especies en la biodegradación de plásticos, sino que también establece bases sólidas para el desarrollo de tecnologías verdes aplicadas al tratamiento eficiente de residuos sólidos.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

2.1.1 Internacional

Li, et al. (2024), examinaron la biodegradación de plásticos por *B. dubia* utilizando microplásticos (MP) de PS como material de prueba. Para ello utilizaron cucarachas *Dubia* (*Blaptica dubia*) de 3 meses de edad de tamaño de 20 y 25 mm, con peso individual de $0,415 \pm 0,03$ g, e incubaron en incubadoras artificiales oscuras a temperaturas entre 25 y 27 °C y con humedad entre 60 al 70 %, siendo alimentados con una dieta normal de zanahoria: manzana: harina de maíz: salvado a 6:2:1:1, p/p. La biodegradación de PS se realizó en tres grupos (200 cucarachas). Para probar la viabilidad de la biodegradación de PS, se alimentaron en la proporción de agar: PS: agua de 0,5:0,8:24,5 (p/p) y midieron el peso de las cucarachas, el peso de las heces y residuo de plástico en cada grupo cada cinco días durando toda la prueba en 15 días. Demostraron que las cucarachas digirieron el 46,6 % del PS ingerido en 24 h, así mismo, demostraron la biodegradación por el cambio isotópico de ^{13}C del PS residual en las heces frente al PS prístino ($\Delta \delta^{13}\text{C}$ de 2,28 ‰). Evidenciaron la sólida capacidad de las cucarachas para

degradar plástico y una nueva comprensión de la biodegradación de plásticos mediada por insectos y sus microbios.

Liu, et al. (2024), aprovecharon el poder de las comunidades microbianas derivadas de los microbiomas intestinales de los gusanos *in vitro* para un bioproceso prometedor para la degradación de plástico. Establecieron comunidades de biopelículas asociadas a plástico estables y reproducibles derivadas del microbioma intestinal de *Zophobas atratus*, a través de dos etapas: alimentación con plásticos (HDPE, PP y PS) e incubación *in vitro* de microbiomas intestinales obtenidos de los gusanos alimentados con plástico. Experimentaron con super gusanos de cinco semanas de edad con un peso de 0,7 g; su dieta consistió en avena durante 30 días, después transfirieron a recipientes de vidrio (40 super gusanos), y alimentados con 3 tipos de plásticos (HDPE, PP y PS) asociado con avena por un periodo de un mes. Demostraron cambios más prominentes de los microbiomas intestinales durante la incubación *in vitro*. Los taxones degradadoras de plásticos se enriquecieron aún más, mientras que otros taxones representados por bacterias lácticas se redujeron. Por lo tanto, concluyeron que la investigación propone como nuevas perspectivas para el bioprocesamiento de residuos plásticos mediante el uso de los gusanos.

Sun, et al. (2022), evaluaron los cambios en el microbioma intestinal de las larvas *Zophobas morio* alimentados con salvado, poliestireno o en condiciones de inanición durante 3 semanas. Experimentaron con 171 supergusanos alojados en un contenedor durante 24 horas después de su llegada, los cuales lo dividieron en tres grupos (15 larvas) con una dieta de zanahoria y salvado de trigo durante 1 semana, con una temperatura entre 20 a 25 °C. Registraron dos veces por semana el peso de los super gusanos y del poliestireno, durando la prueba 3 semanas. Después, se separaron 15 larvas para la prueba de pupación y lo restante lo congelaron en nitrógeno líquido y se almacenaron a -80 °C para metagenómica. Así mismo identificaron *Pseudomonas*, *Rhodococcus* y *Corynebacterium* los cuales poseen genes

asociados a la biodegradación de poliestireno. Demostraron las vías metabólicas utilizadas por el microbioma intestinal de los super gusanos para degradar el poliestireno, así mismo, confirmaron que los super gusanos pueden sobrevivir con un alimento de poliestireno, pero tiene impactos negativos considerables en la diversidad y la salud del microbioma intestinal del huésped.

Yang, et al. (2021), probaron larvas de *Tenebrio molitor* como biodegradadoras de poliestireno (PS) con un peso molecular promedio (M_w) 256,4 kDa y dos espumas polietileno de baja densidad (LDPE) con M_w respectivos de 130,6 kDa (PE-1) y 288,7 kDa (PE-2) desarrollando la prueba por un periodo de 60 días. Confirmaron el proceso de la biodegradación y oxidación de EPS y LDPE mediante el análisis FTIR y TGA de los excrementos, estos dos métodos les permitieron observar la formación de nuevos grupos funcionales (oxígeno) y el cambio en la propiedad física y la modificación química. Así mismo encontraron la amplia despolimerización de EPS y PE-1, y una despolimerización con grado limitado de PE-2. Concluyendo que la biodegradación de PS depende de los microbios intestinales, sin embargo, la biodegradación de LDPE era menos dependiente de los microbios intestinales.

Tsochatzis, et al. (2021), evaluaron la biodegradación de poliestireno (PS) por *Tenebrio molitor* en tres diferentes dietas que consistieron en PS, cebada laminada y agua, la degradación de PS varió del 16% al 23% en 15 días, sin diferencias estadísticas en las tasas de mortalidad, en cambio, las larvas que alimentaron con cebada:PS (20:1 p/p) y agua tuvo la mayor tasa de crecimiento, sin embargo, observaron un mayor consumo de PS para cebada:PS de 4:1 p/p. Realizaron un análisis GC-TOF-MS en donde revelaron que no existen sustancias contaminantes en el tejido intestinal, ni estireno ni oligómeros de PS, sin embargo están presentes varios compuestos bioactivos y trazas de alcanos, principalmente con pequeñas cadenas de carbono. Demostraron que los compuestos orgánicos degradantes y

contaminantes ocurren en niveles bajos, tanto en el intestino como en el excremento, durante la biodegradación del PS.

Luo, et al. (2021), utilizaron tres tipos de plásticos que incluyen poliestireno (PS), polietileno (PE) y espuma de poliuretano (PU) como alimento de las larvas *Zophobas atratus* por un periodo de 35 días y también salvado como control. Las larvas alimentadas con PS o PU mostraron tasas de supervivencia del 100%, las larvas alimentadas con PE y las larvas de inanición tuvieron tasas de supervivencia reducidas del 81,67% y 65%, respectivamente. Tanto los grupos alimentados con plásticos como los de inanición mostraron una disminución del peso de las larvas. Las tasas de consumo fueron PS (1.41 mg/d/larva), PE (0.30 mg/d/larva) y PU (0.74 mg/d/larva). Los análisis de espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier de reflexión total atenuada (ATR-FTIR) y calorímetro diferencial de barrido y termogravimétrico (DSC-TGA) demostró que hubo cambios de los grupos funcionales y la termoestabilidad en los excrementos.

2.1.2 Nacional

Olivas (2025), se determinó la capacidad de las larvas de *Zophobas morio* para degradar poliestireno expandido de acuerdo con condiciones controladas. La investigación se trató desde un enfoque cuantitativo, con carácter aplicado y nivel explicativo, utilizando un diseño cuasiexperimental que incluyó un grupo control y dos grupos experimentales, correspondientes a larvas evaluadas a los 15 y 30 días de exposición. Durante el experimento se manipuló la densidad larvaria (50, 70 y 100 individuos) y el tiempo de contacto con el sustrato plástico, utilizando 10 g de poliestireno por unidad experimental. A través de este estudio se evidenció que la eficiencia de biodegradación estuvo condicionada por ambas variables, registrándose el mayor porcentaje de degradación en el grupo de 100 larvas tras 30 días de exposición, con una reducción de masa cercana al 6,3 %, equivalente a una pérdida aproximada de 1,19 g de material. Asimismo, se constató una elevada viabilidad biológica del proceso, reflejada en una tasa promedio de

supervivencia del 97,5 % de las larvas. El análisis estadístico mediante la prueba t de Student señaló diferencias estadísticamente significativas en la pérdida de masa del poliestireno ($p < 0,05$), lo que permitió validar la hipótesis planteada y corroborar la eficiencia del tratamiento. En conclusión, las larvas de *Zophobas morio* demostraron ser agentes eficaces en la biodegradación del poliestireno, demostrando su potencial como herramienta de bioconversión para el manejo sostenible de residuos plásticos y su probable aplicación en estrategias de biorremediación asistida por insectos a escala piloto.

Leyva (2024), evaluó la biodegradación del tereftalato de polietileno (PET), así mismo del poliestireno expandido (EPS) mediante la utilización de líquido ruminal vacuno y larvas de *Tenebrio molitor*, con condiciones controladas de laboratorio. El estudio consideró periodos de evaluación de 30, 60, 90 y 120 días, teniendo cinco repeticiones por tratamiento. Los resultados indicaron que el líquido ruminal presentó mayor eficiencia en la degradación del PET, alcanzando su mayor porcentaje a los 120 días, mientras que *Tenebrio molitor* mostró una mayor habilidad degradativa frente al poliestireno, especialmente en los periodos de mayor duración. En contraste, la degradación del PET por *T. molitor* fue limitada. Finalmente, el autor determinó que ambos tratamientos presentan comportamientos diferenciados según el tipo de polímero, demostrando su potencial como alternativas biológicas para el tratamiento de residuos plásticos.

Caruajulca y Huamán (2024), analizaron la degradación del poliestireno expandido (EPS) por bacterias cultivables relacionados al intestino de larvas de *Tenebrio molitor*. El estudio midió la microbiota intestinal de larvas provenientes de un centro de comercialización y de crías alimentadas con dietas que incluyeron EPS, seleccionándose cepas bacterianas capaces de aplicar el polímero como fuente de carbono y energía. Las bacterias degradadoras, identificadas principalmente como *Staphylococcus* sp., *Citrobacter* sp., *Enterobacter* sp. y *Shigella* sp.,

presentaron eficiencias variables de degradación, consiguiendo una pérdida de peso del EPS de hasta 12,68 %. Los autores concluyeron que estas bacterias intestinales poseen un potencial biotecnológico relevante para la biodegradación del poliestireno expandido.

Hoyos (2024), esta investigación tuvo como objetivo evaluar la capacidad de biodegradación de diversos plásticos de uso frecuente por parte del coleóptero *Tenebrio molitor* en condiciones de laboratorio. Este estudio fue de naturaleza aplicada y la utilización de un diseño experimental en el que se seleccionaron larvas de *T. molitor* de tamaño uniforme, las cuales fueron alimentadas en un periodo de dos meses con distintos tipos de polímeros sintéticos: tereftalato de polietileno (PET), polietileno de alta densidad (HDPE), polietileno de baja densidad (LDPE), polipropileno (PP) y poliestireno (PS). Cada tratamiento incluyó cinco repeticiones, con 30 larvas alimentadas con 20 g de cada material plástico, mientras que el grupo control recibió zanahoria y papa como dieta de referencia. El análisis de los datos reveló variaciones en la masa consumida según el tipo de polímero, observándose que *T. molitor* mostró una mayor efectividad de biodegradación sobre el poliestireno en comparación con los demás plásticos. Los resultados obtenidos en esta investigación pueden contribuir al desarrollo de estrategias biotecnológicas orientadas a la mitigación de la contaminación por residuos plásticos.

Castro y Muñoz (2023), determinaron la biodegradación mediante las larvas de *Zophobas morio* en residuos de poliuretano (PU) y polipropileno (PP) en San Juan de Lurigancho. Usaron 2 gr PP y PU en un periodo de 28 días, colocaron 30 larvas en cada grupo pesando y midiendo con anterioridad. Registraron una disminución del 0,63% y 0,1% en PU y PP respectivamente, así mismo observaron aumentos en la masa y longitud de las *Zophobas morio* 0,026 g y 0,27 cm para PU, y 0,024 g y 0,27 cm para PP. Analizaron la generación de carbono de 10 larvas alimentadas con PU y PP, las mediciones dieron como resultado un aumento del 4% y 2.5% para el PU y PP

respectivamente. Los autores concluyeron que el uso de larvas de *Zophobas morio* hace posible la reducción de residuos de PU y PP, sin embargo, la reducción fue significativa recién el día 28, los resultados destacan la necesidad de seguir investigando para lograr una reducción más significativa de estos residuos.

2.1.3 Local

Se realizaron consultas en las bases de datos del repositorio de la Universidad Nacional de Huancavelica, así como en bibliotecas de otras universidades públicas y privadas, y en páginas web de centros de investigación. No se encontró ningún reporte científico que aborde el tema de esta investigación en el contexto local, por lo que se considera que este estudio constituye un aporte pionero para la región.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Distribución de termoplásticos en el mundo

En los últimos años, el aumento en la producción y el uso de plásticos se ha intensificado en países de Europa, Asia y Norteamérica. Esta situación ha acelerado la acumulación de residuos plásticos y ha generado una carga cada vez mayor sobre el medio ambiente, con efectos negativos en la biodiversidad y en la salud humana (Rodrigues et al., 2019). Los termoplásticos como el PET, el poliestireno expandido (EPS), el polipropileno (PP) y el polietileno de baja densidad (PE-BD) son termoplásticos de uso común. Aunque en muchos países se reciclan mediante métodos térmicos, mecánicos y químicos, su manejo sigue siendo complejo debido a sus largos tiempos de degradación y a los altos costos asociados a su gestión (Tabla1).

Tabla 1

Producción aproximada de plásticos/termoplásticos por país (2023-2025).

País / Región	Producción anual (toneladas)
China	~127 Mt
Estados Unidos	~85 Mt

Canadá	~85 Mt
Alemania	~18–20 Mt
Japón	~12 Mt
India	~10–18 Mt
Francia	~57 Mt
Reino Unido	~57 Mt
Italia	~57 Mt
Resto de Europa	~57 Mt

Fuente: IndexBox. (2024a)

La literatura indica que, en los últimos dos años (2024–2025), la producción mundial de plásticos ha continuado en aumento, según estimaciones comparativas basadas en datos globales de producción total. En este contexto, China lidera la producción de las cuatro principales resinas a nivel mundial (PET, PP, PE y PS), concentrando aproximadamente el 34 % del total combinado (IndexBox, 2024a). Le sigue Estados Unidos, que ocupa el segundo lugar como mayor productor de este grupo de resinas, con alrededor del 13 %. India se posiciona como un productor relevante, con cerca del 5 % de la producción global, mientras que Japón presenta una producción similar. En Europa, Alemania destaca como el principal productor, aunque con una cuota considerablemente menor, cercana al 2 % como se muestra en la Tabla 2 (PlasticsEurope, 2020; IndexBox, 2024b).

Tabla 2

Estimada de producción de termoplásticos por país y tipo.

País	PET (%)	EPS (%)	PP (%)	PE-LD / PE-BD (%)
China	34	34	34	34
Estados Unidos	13	13	13	13
India	5	5	5	5
Japón	5	5	5	5
Alemania (Europa)	2	2	2	2

Fuente: IndexBox. (2024a), (2024b).

2.2.2 Los termoplásticos en los países latinoamericanos

No existen indicadores oficiales consolidados sobre la producción de termoplásticos en los países latinoamericanos. Sin embargo, se dispone de estadísticas confiables sobre la producción y el consumo de plásticos provenientes de fuentes primarias, las cuales incluyen principalmente resinas termoplásticas como PE, PP, PET, PVC y EPS, entre otras. Estos datos pueden visualizarse en las Tablas 3 y 4 (IndexBox, 2024c; Economista, 2025).

Tabla 3
Estimación de producción y consumo de termoplásticos en América Latina (2023-2025).

Indicador (Millones de toneladas)	2023 (estim.)	2024 (reportado)	2025 (estim.)
Consumo total de plásticos (proxys termoplásticos)	~42 Mt*	43 Mt	~44 Mt**
Producción total de plásticos (proxys termoplásticos)	~31 Mt*	30 Mt	~31 Mt**
Exportaciones	~3 Mt*	~3.3 Mt	~3.4 Mt**
Importaciones	~15 Mt*	~16 Mt	~16.5 Mt**

Leyenda: * Estimado 2023 basado en la variación observada entre años previos (2023-2024), ** Proyección 2025 con crecimiento moderado del consumo y producción regional (~+2–3 %); Fuente: IndexBox (2024c) y Economista (2025).

Tabla 4
Producción de termoplásticos según países de América Latina

País	2023 (estim.)	2024 (estim.)	2025 (estim.)	Observaciones
Brasil	~14.0	~14.0	~14.2	Principal productor regional (~46–48 % del total)
México	~6.0	~6.1	~6.1	Segundo mayor productor en la región
Colombia	~2.5	~2.6	~2.6	Tercer mayor productor regional
Otros países	~6.5	~7.3	~7.5	Incluye Argentina, Chile, Perú, Argentina, Chile y otros con participación menor

Fuente: IndexBox. (2024c) y Economista (2025).

2.2.3 Características de los termoplásticos

Los termoplásticos son polímeros que se ablandan al calentarse y se endurecen al enfriarse, proceso que puede repetirse varias veces sin que el material pierda significativamente sus propiedades químicas básicas existen varios tipos como se detalla a continuación (Khruengsai et al., 2023).

2.2.3.1 *Poliestireno Expandido (EPS)*

Chelomin et al. (2023), sustenta que el poliestireno expandido, conocido como EPS, constituye una parte significativa de los desechos plásticos en nuestro entorno, abarcando áreas costeras y marítimas. Este material es empleado en diversas industrias, como la acuicultura y la piscicultura, lo que representa un riesgo serio no solo para las especies acuáticas cultivadas, sino también para todos los seres vivos, humanos incluidos. (Adhikary y Ashish 2022), así mismo, el uso común de EPS en el sector del embalaje, la aplicabilidad diversa del EPS no biodegradable ayuda a incrementar la producción mundial de desechos.

2.2.3.2 *Polipropileno (PP)*

Blanco y Catarí (2024), argumenta que el polipropileno, conocido como PP, es un tipo de polímero termoplástico que se presenta de forma semi cristalina, en tonos blancos y semi opacos. Este plástico, se puede moldear con calor, se utiliza principalmente para fabricar componentes que requieren resistencia a productos químicos, ligereza y una fricción suave. Se caracteriza por su gran rigidez y dureza, ofreciendo una notable resistencia tanto a impactos como a líquidos corrosivos. Se clasifica como una poliolefina alifática que soporta altas temperaturas (hasta 160°C), presenta baja densidad y es muy fácil de moldear. En la actualidad, el PP se posiciona como el tercer termoplástico más comercializado y es uno de los más económicos, dado que puede ser creado a partir de materias primas petroquímicas de bajo costo.

2.2.3.3 Polietileno de baja densidad (PE-LD)

Muchos estudios argumentan que el polietileno de baja densidad (PE-LD) ha sido empleado en el comercio y ha llegado a acumularse como desecho plástico sólido. Se ha comprobado que este material no se descompone a lo largo de los años y se ha identificado como una fuente de polución en el entorno (Khruengsai et al., 2023).

2.2.4 Métodos de tratamiento de plástico

La contaminación por residuos plásticos representa una de las problemáticas ambientales y frente a esta, se han desarrollado diversos métodos de tratamiento y degradación orientados a reducir el volumen de residuos plásticos y minimizar sus efectos ambientales. Estos métodos comprenden procesos físicos, químicos, térmicos y biológicos que permiten el reaprovechamiento, transformación o degradación parcial y total de los polímeros sintéticos (Hu et al., 2024).

2.2.4.1 Reciclaje

El reciclaje constituye uno de los métodos más empleados para el tratamiento de residuos plásticos debido a su capacidad para reincorporar materiales poliméricos dentro de los ciclos productivos industriales. Este proceso comprende etapas de recolección, clasificación, limpieza, trituración y reprocesamiento del material plástico para la fabricación de nuevos productos o materias primas secundarias (Luo et al., 2024).

El reciclaje puede clasificarse en reciclaje mecánico y reciclaje químico. El reciclaje mecánico consiste en la transformación física del polímero mediante procesos de molienda, extrusión y remoldeo térmico; mientras que el reciclaje químico implica la descomposición molecular del plástico para recuperar monómeros, hidrocarburos y compuestos reutilizables en procesos petroquímicos (Okolie et al., 2023).

Diversas investigaciones recientes señalan que el reciclaje representa una estrategia fundamental dentro de los modelos de economía circular debido a su potencial para disminuir la extracción de recursos naturales y reducir la acumulación de residuos plásticos. Sin embargo, este método presenta limitaciones relacionadas con la pérdida progresiva de propiedades mecánicas del polímero y la dificultad para reciclar materiales contaminados o mezclados (Luo et al., 2024).

2.2.4.2 Incineración

La incineración constituye un método térmico utilizado para reducir el volumen de residuos plásticos mediante combustión controlada a elevadas temperaturas. Este proceso permite disminuir significativamente la acumulación de desechos sólidos y, en algunos casos, recuperar energía en forma de calor o electricidad (Hu et al., 2024).

Durante la incineración, los polímeros sintéticos son sometidos a temperaturas elevadas que favorecen su oxidación y degradación térmica. No obstante, investigaciones recientes indican que este proceso puede generar emisiones contaminantes como dióxido de carbono, óxidos de nitrógeno, dioxinas y partículas tóxicas que afectan la calidad ambiental y representan riesgos para la salud humana (Yang et al., 2024).

Asimismo, la eficiencia ambiental de la incineración depende de la implementación de tecnologías avanzadas de control de emisiones atmosféricas y sistemas de tratamiento de gases residuales. Debido a ello, aunque la incineración reduce considerablemente el volumen de residuos plásticos, continúa siendo una alternativa controversial desde el punto de vista ambiental (Hu et al., 2024).

2.2.4.3 Pirólisis

La pirólisis es un proceso termoquímico basado en la descomposición de materiales plásticos mediante elevadas temperaturas en ausencia parcial o total de oxígeno. Durante este proceso, las cadenas poliméricas sufren ruptura térmica, generando productos líquidos, gaseosos y sólidos con potencial de aprovechamiento energético e industrial (Shareefdeen & ElGazar, 2024).

Entre los principales productos obtenidos mediante pirólisis se encuentran aceites combustibles, gases ricos en hidrocarburos y carbón sólido, los cuales pueden utilizarse como combustibles alternativos o materias primas petroquímicas. Debido a ello, este método ha adquirido importancia como alternativa para el tratamiento de residuos plásticos de difícil reciclaje convencional (Luo et al., 2024).

Las investigaciones recientes destacan que la pirólisis presenta ventajas relacionadas con la reducción del volumen de residuos y recuperación energética; sin embargo, también posee limitaciones asociadas al elevado consumo energético, costos operativos y necesidad de infraestructura tecnológica especializada (Shareefdeen & ElGazar, 2024).

2.2.5 Biodegradación de plásticos

2.2.5.1 Biodegradación

La biodegradación constituye un proceso biológico complejo mediante el cual diversos microorganismos, tales como bacterias, hongos y microbiota asociada a insectos detritívoros, transforman compuestos orgánicos complejos en sustancias más simples a través de mecanismos metabólicos y enzimáticos. En el caso de los termoplásticos, la biodegradación implica la alteración progresiva de las cadenas poliméricas hasta su conversión en dióxido de carbono,

agua, metano y biomasa, dependiendo de las condiciones ambientales y del tipo de metabolismo microbiano presente (Thew et al., 2023).

a. Degradación física

La degradación de materiales plásticos puede clasificarse en degradación física, química y biológica. La degradación física comprende la fragmentación del polímero ocasionada por factores ambientales como radiación ultravioleta, temperatura, abrasión y esfuerzos mecánicos. Este proceso produce modificaciones estructurales superficiales sin alterar completamente la composición química del material, favoreciendo la formación de microplásticos (Gewert et al., 2015).

b. Degradación química

La degradación química implica cambios moleculares inducidos por reacciones de oxidación, hidrólisis o fotodegradación, las cuales debilitan los enlaces químicos de las cadenas poliméricas y facilitan su posterior descomposición (Okolie et al., 2023).

c. Degradación biológica

Finalmente, la degradación biológica corresponde a la acción metabólica de organismos vivos capaces de utilizar parcial o totalmente el polímero como fuente de carbono y energía. Este proceso depende principalmente de la actividad enzimática desarrollada por microorganismos y microbiota intestinal especializada (Thew et al., 2023).

2.2.5.2 *Procesos de biodegradación*

La biodegradación de termoplásticos comprende una serie de etapas interrelacionadas que involucran procesos físicos, químicos y biológicos capaces de modificar progresivamente la estructura molecular del polímero.

a. Fragmentación

La fragmentación constituye la etapa inicial de degradación y consiste en la reducción del tamaño del material plástico mediante procesos mecánicos, térmicos o biológicos. Esta disminución del tamaño de partícula incrementa el área superficial expuesta, favoreciendo la interacción entre el polímero y los microorganismos degradadores. Asimismo, la fragmentación facilita la penetración de enzimas y agentes oxidantes sobre las cadenas poliméricas (Gewert et al., 2015).

b. Oxidación

La oxidación corresponde a un proceso químico donde las cadenas del polímero sufren modificaciones estructurales por acción del oxígeno atmosférico, radiación ultravioleta o agentes oxidantes. Estas reacciones generan ruptura de enlaces covalentes, disminución del peso molecular y formación de grupos funcionales oxigenados que incrementan la susceptibilidad del material frente a la actividad microbiológica (Okolie et al., 2023).

c. Mineralización

La mineralización representa la etapa final de la biodegradación, en la cual los compuestos orgánicos derivados del polímero son transformados completamente en sustancias inorgánicas simples, principalmente dióxido de carbono (CO_2), agua (H_2O), metano (CH_4) y biomasa microbiana. Este proceso evidencia la capacidad metabólica de los microorganismos para incorporar los compuestos resultantes dentro de sus ciclos biológicos (Thew et al., 2023).

d. Acción microbiológica

La acción microbiológica constituye uno de los mecanismos fundamentales en la biodegradación de termoplásticos. Diversas

bacterias, hongos y microorganismos intestinales producen enzimas extracelulares capaces de hidrolizar y oxidar las cadenas poliméricas, facilitando su utilización como fuente energética. Investigaciones recientes han demostrado que el microbiota intestinal de insectos detritívoros como *Tenebrio molitor* y *Zophobas morio* presenta potencial biodegradador frente a determinados polímeros sintéticos, especialmente poliestireno y polietileno de baja densidad (He et al., 2024).

2.2.5.3 Factores que influyen en la biodegradación

La eficiencia de la biodegradación de termoplásticos depende de diversos factores ambientales, fisicoquímicos y biológicos que condicionan la actividad metabólica de los organismos degradadores y la susceptibilidad del polímero.

a. Temperatura

La temperatura influye directamente sobre la velocidad de las reacciones bioquímicas y la actividad metabólica de los microorganismos. Temperaturas moderadamente elevadas favorecen la actividad enzimática y aceleran la degradación del polímero; sin embargo, temperaturas extremas pueden alterar la estabilidad celular y reducir significativamente la eficiencia biodegradadora (Thew et al., 2023).

b. Humedad

La humedad constituye un factor esencial para el crecimiento y metabolismo microbiano, debido a que facilita el transporte de nutrientes y la actividad enzimática. Condiciones de baja humedad limitan el desarrollo microbiológico y disminuyen considerablemente la velocidad de biodegradación de materiales plásticos (Crystal Thew et al., 2024).

c. Oxígeno

La disponibilidad de oxígeno determina el tipo de metabolismo involucrado en el proceso degradativo. En condiciones aerobias, los microorganismos convierten el polímero principalmente en dióxido de carbono y agua; mientras que, en ambientes anaerobios, predominan procesos fermentativos asociados a la producción de metano y otros compuestos intermedios (Okolie et al., 2023).

d. Tipo de polímero

La biodegradabilidad de los termoplásticos depende significativamente de su composición química, peso molecular, grado de cristalinidad y presencia de aditivos. Polímeros con estructuras más simples y menor cristalinidad presentan mayor susceptibilidad frente a la acción microbiana, mientras que materiales altamente cristalinos muestran elevada resistencia a la degradación biológica (Fiandra et al., 2023).

e. Actividad microbiológica

La actividad biológica depende del tipo de microorganismo o insecto involucrado en el proceso degradativo, así como de la presencia de enzimas específicas capaces de romper las cadenas poliméricas. Diversos estudios recientes evidencian que el microbiota intestinal de insectos detritívoros posee potencial para acelerar la degradación parcial de ciertos termoplásticos mediante procesos enzimáticos y metabólicos especializados (He et al., 2024).

2.2.6 Teoría de la evolución de las especies

La teoría de la evolución por selección natural propuesta por Charles Darwin (1859) sostiene que las especies experimentan cambios graduales a lo largo del tiempo como resultado de la variabilidad genética y de la interacción con su entorno. Según esta teoría, los organismos que poseen

características favorables para sobrevivir y reproducirse en determinadas condiciones ambientales tienen mayores probabilidades de transmitir dichas características a las siguientes generaciones. Como consecuencia, las poblaciones desarrollan adaptaciones que les permiten responder a cambios ambientales, aprovechar nuevos recursos y mejorar sus posibilidades de supervivencia. Actualmente, esta teoría continúa siendo el fundamento de la biología evolutiva y explica cómo los organismos modifican progresivamente sus características fisiológicas, metabólicas y ecológicas en respuesta a las presiones del ambiente, (Boctor et al., 2024; Sangiorgio et al., 2021).

Desde una perspectiva evolutiva, la capacidad observada en *Tenebrio molitor*, *Zophobas morio* y potencialmente *Blaptica dubia* no surgió específicamente para degradar plásticos, debido a que estos materiales existen desde hace apenas unas décadas en comparación con la escala temporal de la evolución biológica. Más bien, se considera que estas capacidades son consecuencia de adaptaciones evolutivas previamente desarrolladas para degradar materia orgánica compleja, lignocelulosa y otros compuestos ricos en carbono. Como resultado, las enzimas digestivas y microorganismos intestinales presentes en estas especies pueden interactuar con ciertos polímeros sintéticos, generando procesos de biodegradación que actualmente son estudiados como alternativas sostenibles para el tratamiento de residuos plásticos (Yang et al., 2024)

2.2.7 Marco biológico

2.2.7.1 *Tenebrio molitor*

Tenebrio molitor es un coleóptero, reconocido como plaga de harinas, granos y productos almacenados. Presenta un ciclo biológico completo con cuatro fases: huevo, larva, pupa y adulto. Las hembras pueden ovipositar cerca de 500 huevos, los cuales eclosionan entre 3 y 9 días bajo condiciones de 25 °C, dando lugar a la fase larval. Esta etapa, de color amarillo a marrón claro, se prolonga aproximadamente de 1 a 8 meses. La pupación ocurre durante 5 a 28 días a 18 °C, mientras

que la vida adulta se extiende de 2 a 3 meses. Las larvas alcanzan longitudes cercanas a 2,0–3,5 cm o mayores, y los adultos miden alrededor de 1 cm. La especie es omnívora y consume tanto materiales de origen vegetal como animal; sin embargo, para un desarrollo óptimo se recomienda una dieta con alrededor del 20 % de proteína. En sistemas de producción, se alimenta principalmente de salvado o harinas de cereales (trigo, avena y maíz), complementadas con frutas y verduras como fuente de humedad. Las principales fuentes proteicas incluyen harina de soya, leche descremada en polvo y levadura (Hong et al., 2020).

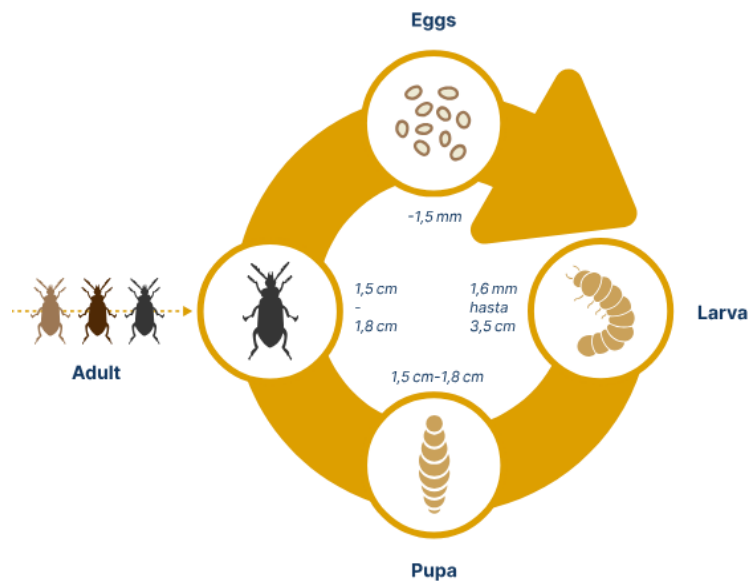
Taxonomía

- Reino: Animalia
- Clase: Insecta
- Orden: Coleoptera
- Familia: Tenebrionidae
- Género: Tenebrio
- Especie: T. molitor

Como se observa en la (Figura 1):

Figura 1

Ciclo de vida de Tenebrio Molitor



Fuente: Hong et al., (2020).

2.2.7.2 *Zophoba morio*

Las larvas de *Zophobas morio* pertenecen a un escarabajo tenebriónido originario de América Central y del Sur, conocido como gusano gigante, super gusano o gusano rey, denominaciones asociadas a su notable tamaño en comparación con otras especies como *Tenebrio molitor*. Esta especie, desarrolla una metamorfosis completa. Bajo condiciones óptimas de temperatura cercanas a los 27 °C y una alimentación adecuada, el recambio generacional puede producirse en un periodo aproximado de tres meses y medio a cuatro meses. (Sun, 2022).

Desde el punto de vista morfológico, el adulto corresponde a un escarabajo de color negro opaco, cuerpo robusto y desplazamiento ágil. No obstante, es la fase larvaria la que posee mayor relevancia práctica, debido a su elevado contenido proteico, lo que la hace ampliamente utilizada en la alimentación de diversos animales como peces, aves, reptiles, anfibios y pequeños mamíferos. Las larvas se caracterizan por su gran tamaño, pudiendo alcanzar hasta 6 cm de longitud, presentan seis patas pequeñas y estructuras rudimentarias adicionales, con

extremos corporales más oscuros. Una particularidad destacable de esta especie es que, cuando las larvas se mantienen en aislamiento durante un periodo determinado, pueden iniciar el proceso de metamorfosis y transformarse en escarabajos que alcanzan tamaños cercanos a los 3 cm. (Olivas, 2025).

El ciclo de vida inicia con la oviposición, donde los huevos, de forma alargada y color blanquecino translúcido, son depositados en un sustrato adecuado. Tras un periodo de incubación aproximado de una semana, emergen larvas de pequeño tamaño que comienzan una fase intensiva de crecimiento. Durante esta etapa, las larvas incrementan rápidamente su peso y longitud, alimentándose de una amplia variedad de sustratos, incluidos frutos, vegetales y granos secos. Al alcanzar la madurez larvaria, generalmente alrededor de los 60 días o cuando superan los 4 cm de longitud, buscan un ambiente seco y protegido para iniciar la fase de pre pupa, caracterizada por la inmovilización progresiva y el aumento de grosor corporal. Posteriormente, se transforman en pupas de color claro, que con el tiempo adquieren tonalidades más oscuras, permaneciendo en este estado por un periodo aproximado de diez a doce días. Finalmente, emerge el imago o adulto joven, inicialmente de color claro, que se oscurece gradualmente hasta alcanzar la coloración característica de la especie, completando así el proceso metamórfico.

En cuanto a la alimentación, aunque las dietas más eficaces se basan en alimentos secos y balanceados, ricos en proteínas y grasas, similares a los utilizados en la crianza de animales de corral. Asimismo, el suministro de frutas y vegetales aporta la humedad necesaria, reduciendo la necesidad de agua adicional. Por el contrario, se desaconseja estrictamente el uso de alimentos fritos o con alto contenido de aceites, ya que pueden afectar negativamente la salud y supervivencia de las larvas. (Úbeda y Maes 2021).

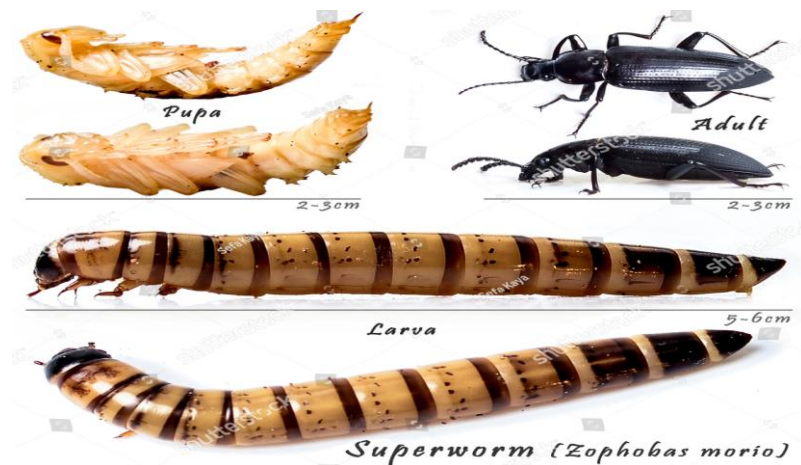
Taxonomía

- Reino: Animalia
- Clase: Insecta
- Orden: Coleoptera
- Familia: *Tenebrionidae*
- Género: *Zophobas*
- Especie: *Zophobas morio*

Como se observa en la (Figura 2):

Figura 2

Ciclo de vida de Zophoba morio



Fuente: Úbeda y Maes 2021.

2.2.7.3 *Blaptica dubia*

Blaptica dubia es una especie de cucaracha perteneciente a la familia Blaberidae, cuyo origen se sitúa en las regiones tropicales y subtropicales de América del Sur. Su distribución natural abarca principalmente países como Brasil, Guyana, Surinam y áreas del norte de Argentina, donde habita ecosistemas caracterizados por temperaturas elevadas, alta humedad y abundante materia orgánica en descomposición. Estos ambientes han condicionado su adaptación a microhábitats estables, con escasa exposición a la luz y disponibilidad

constante de refugios naturales. Presenta un ciclo de vida ovovivíparo, en el cual el desarrollo embrionario ocurre dentro de la hembra hasta la eclosión de las ninfas. Tras alcanzar la madurez sexual, las hembras inician el proceso reproductivo y, luego de un periodo de gestación de aproximadamente 60 a 70 días, liberan entre 25 y 30 ninfas vivas. Las ninfas emergen con una longitud cercana a 3 mm, coloración blanquecina y un exoesqueleto blando, el cual se endurece y oscurece progresivamente durante las primeras horas. El desarrollo ninfal se extiende alrededor de 4 meses, periodo en el que se producen mudas sucesivas hasta alcanzar el estado adulto (Voća et al., 2026).

La temperatura ambiental constituye un factor determinante en la duración del ciclo biológico y en la tasa reproductiva de la especie. El rango térmico óptimo para su desarrollo se sitúa entre 29 y 32 °C, condiciones que favorecen la gestación, la eclosión y el crecimiento ninfal. Temperaturas inferiores a 25 °C ralentizan el metabolismo, prolongan el desarrollo y reducen significativamente la reproducción, mientras que valores superiores a 35 °C incrementan la mortalidad y el estrés fisiológico. La humedad relativa adecuada se mantiene entre 40 % y 60 %, evitando la desecación de las ninfas y problemas sanitarios asociados al exceso de humedad.

En cuanto a la alimentación, *B. dubia* la dieta se basa en alimentos secos como harinas y salvados de cereales, complementados con fuentes proteicas de origen vegetal. El suministro de frutas y verduras frescas cumple una doble función, aportando micronutrientes esenciales y actuando como principal fuente de humedad. Un acceso constante al agua o a alimentos con alto contenido hídrico resulta crítico para la supervivencia, especialmente en ninfas recién nacidas.

- Reino: Animalia
- Clase: Insecta
- Orden: *Blattodea*

- Familia: *Blaberidae*
- Género: *Blaptica*
- Especie: *Blaptica dubia*

Como se observa en la (Figura 3):

Figura 3

Ciclo de vida de Blaptica dubia



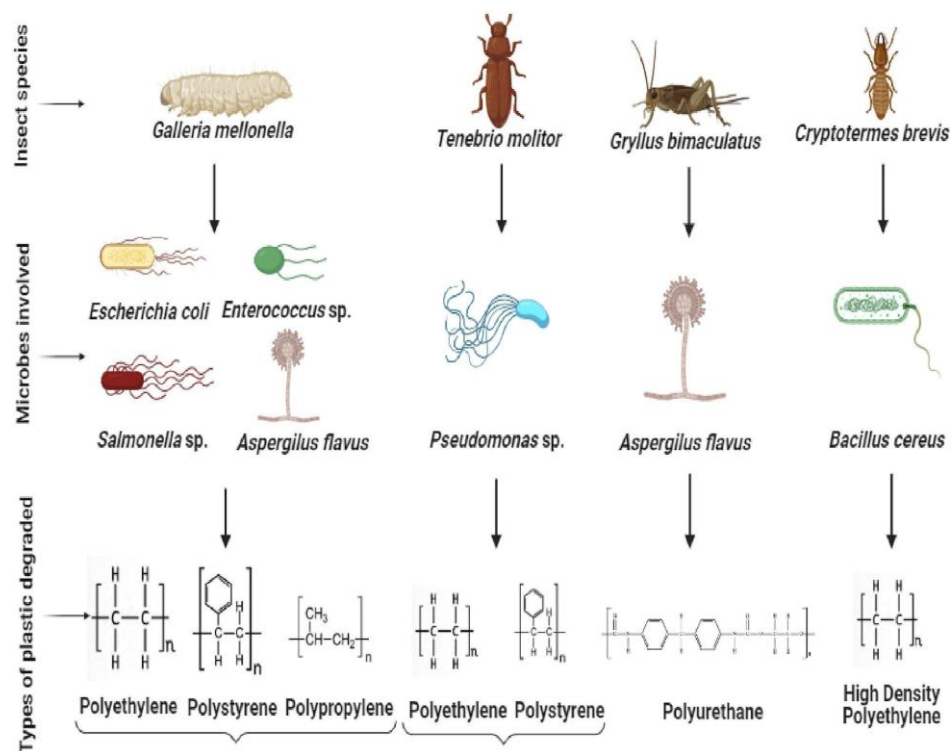
Fuente: Voća et al., (2026).

2.2.8 Tipos de insectos que degradan plástico

Vishnu, et al. (2024), argumentan que, hasta la actualidad, se han dado a conocer varios estudios acerca de distintos insectos capaces de descomponer plástico. La mayoría de estas especies pertenecen a los grupos Lepidoptera y Coleoptera, también muchas variedades de termitas demuestran tener la capacidad de descomponer plásticos. Los reportes más antiguos solo mencionan las especies de insectos y su habilidad para descomponer diferentes categorías de plásticos, siendo el PE y el PS los más comunes como se observa en la (Figura 4).

Figura 4

Especies de insectos y sus microbios intestinales asociados que degradan el plástico y sus polímeros



Fuente: Vishnu, et al. (2024).

Desde el año 2015, los científicos han encontrado que las larvas de ciertas variedades de insectos pueden descomponer tipos de plásticos en intervalos de tiempo muy reducidos. Dichos insectos pertenecen a dos grupos importantes: *Coleoptera*, que comprende integrantes como *Tenebrio molitor*, *Tenebrio obscurus*, *Zophobas atratus*, *Uloma* sp., y *Plesiophthalmus davidis*, así como un representante de la familia *Scarabaeidae*, *Protaetia brevitarsis* y del grupo *Lepidoptera*, que incluye miembros de la familia *Pyralidae*: *Plodia interpunctella*, *Galleria mellonella*, y *Achroia grisella*. Estos insectos tienen patrones alimenticios similares en diferentes hábitats. Los escarabajos oscuros tienden a alimentarse de material lignocelulósico que contiene compuestos aromáticos parecido al poliestireno, por su parte, las *polillas pyralid* prefieren cera de abejas que presenta enlaces similares al polietileno y polipropileno. La capacidad de descomponer plásticos en otras familias o grupos de insectos no ha sido suficientemente explorada. Por lo tanto, identificar y evaluar nuevas especies de insectos para su potencial en la

degradación de plásticos se vuelve cada vez más crucial para el manejo adecuado de los residuos plásticos en el futuro. Li, et al. (2024).

2.2.9 Mecanismos de degradación de plásticos por insectos

La biodegradación de plásticos por insectos constituye un proceso biológico complejo que involucra la acción conjunta de mecanismos físicos, químicos y microbiológicos. Diversas investigaciones recientes han demostrado que ciertas especies de insectos detritívoros, como *Tenebrio molitor*, *Zophobas morio* y otras larvas plastívoras, poseen la capacidad de consumir y fragmentar polímeros sintéticos como poliestireno (PS), polietileno (PE), polipropileno (PP) y poliuretano (PUR). Este proceso no depende únicamente del insecto, sino también de la interacción entre su sistema digestivo, las enzimas presentes en el tracto intestinal y el microbiota asociado, la cual desempeña un papel fundamental en la transformación de los (Vital-Vilchis & Karunakaran, 2025; Yang et al., 2024).

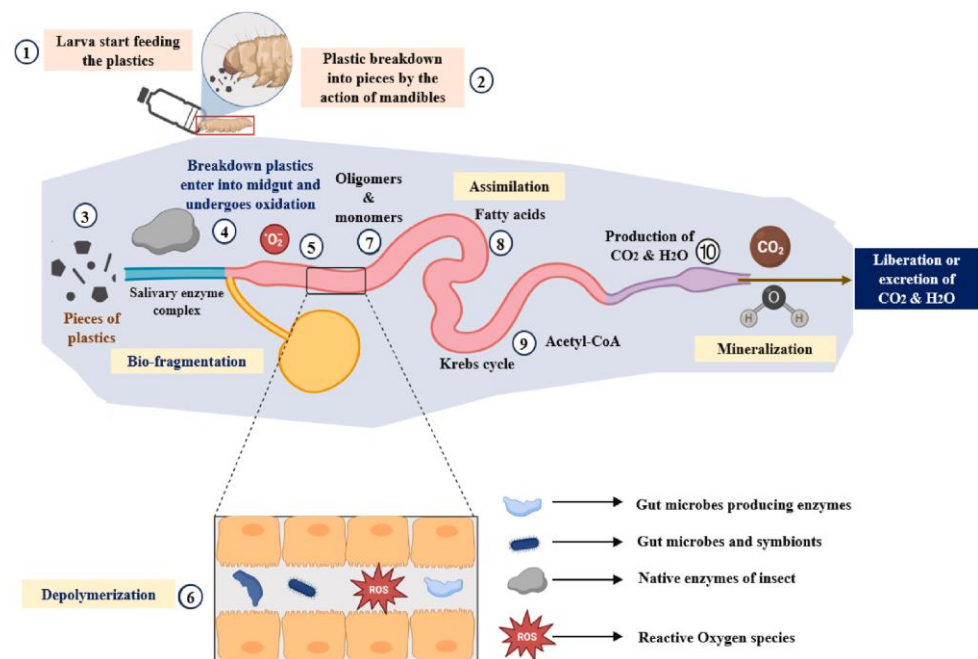
El microbiota intestinal desempeña un papel esencial en este mecanismo debido a que forma biopelículas sobre la superficie del plástico, facilitando la adhesión microbiana y concentrando enzimas degradativas directamente sobre el polímero. Estas comunidades microbianas generan un microambiente favorable para la degradación, promoviendo procesos de oxidación y escisión de cadenas poliméricas. Como resultado, parte del carbono contenido en el plástico puede transformarse en dióxido de carbono (CO₂), biomasa microbiana y otros metabolitos intermedios, contribuyendo a la mineralización parcial del material sintético (Liu et al., 2025; Yang et al., 2023)

Estudios realizados por Yang, et al.(2023), explica el proceso mediante el cual los insectos degradan plásticos estos se clasifican en cinco fases según investigaciones pertinentes: (1) Los plásticos son triturados por las piezas bucales y pasan al sistema digestivo; (2) los microorganismos presentes en el intestino se adhieren al plástico y lo desgastan; (3) el plástico se convierte en fragmentos de oligómeros a través de la oxidación o la

hidrólisis de enzimas, que son suministradas tanto por el microbioma intestinal como por el organismo huésped; (4) el huésped aporta agentes bioemulsionantes que optimizan la efectividad de las enzimas del huésped y microbianas en el ataque a los polímeros; (5) los enlaces dentro de los oligómeros se rompen, produciendo ácidos grasos; y (6) los ácidos grasos se descomponen mediante los procesos metabólicos de los insectos. Para explorar métodos efectivos para la biodegradación de plásticos, es fundamental considerar el papel del microbiota intestinal en los insectos (Figura 5).

Figura 5

Mecanismo de degradación del plástico mediada por insectos



Fuente: Vishnu, et al. (2024).

2.2.10 Importancia de las larvas como tecnología degradadora de plástico

La creciente problemática de la contaminación por plásticos ha impulsado la búsqueda de alternativas innovadoras y sostenibles con el medio ambiente. En este contexto, las larvas de la familia *coleóptero* adquieren relevancia como una tecnología biológica emergente, debido a su capacidad de biodegradar ciertos tipos de plástico mediante la acción conjunta de su

sistema digestivo y los microorganismos asociados. El aprovechamiento de este mecanismo natural representa una estrategia prometedora dentro de la biotecnología ambiental, ya que permite explorar procesos de degradación de contaminantes a partir de organismos vivos, reduciendo la dependencia de métodos físicos o químicos convencionales. Además, el uso de larvas como agentes degradadores de plástico se perfila como una alternativa viable en países en vías de desarrollo, donde se requiere el desarrollo de tecnologías de bajo costo, alto impacto ambiental y aplicabilidad educativa (Álvarez y Botache, 2020).

2.2.10.1 *Tenebrio molitor*

Tenebrio molitor es una de las pocas especies de insectos reportadas con capacidad para degradar materiales de alta resistencia estructural, incluyendo matrices lignocelulósicas presentes en residuos celulósicos como el cartón, así como diversos polímeros sintéticos tales como el poliestireno (PS), polietileno (PE), polipropileno (PP) y cloruro de polivinilo (PVC) (Wu y Criddle, 2021).

Diversos estudios han demostrado que la eficiencia del proceso de biodegradación de plásticos mediado por *T. molitor* se incrementa de manera significativa cuando su dieta es suplementada con residuos orgánicos. En este contexto, la pérdida y el desperdicio de alimentos (PDA) emergen como un recurso con alto potencial de aprovechamiento. Esta estrategia permite alcanzar un doble beneficio: por un lado, optimizar las tasas de degradación de materiales plásticos y, por otro, promover la valorización sostenible de la PDA (Khan et al., 2021).

2.2.10.2 *Zophoba morio*

Según Sun (2022), las larvas de *Zophoba morio* destacan en el ámbito científico por su capacidad para degradar plástico, evidenciada en diversos estudios experimentales. Estas investigaciones demuestran

que, gracias a sus características biológicas, las larvas pueden alimentarse de materiales plásticos como el poliestireno y aprovecharlos como fuente de energía. Asimismo, incluso al avanzar en su proceso de metamorfosis, mantienen la capacidad de consumir cantidades significativas de este polímero en periodos cortos. En este sentido, *Zophobas morio* se perfila como una alternativa biotecnológica prometedora para la reducción de la contaminación ambiental asociada a los residuos plásticos.

2.2.10.3 *Blaptica dubia*

Li et al., (2024) *B. dubia* posee potencial para degradar PS, considerando que habita en ambientes ricos en residuos lignocelulósicos, de manera similar a otros insectos, como *Tenebrio molitor*, previamente reportados como degradadores de plásticos; (ii) el proceso de biodegradación del PS involucra tanto los mecanismos digestivos del insecto hospedador como la acción metabólica de los microorganismos presentes en su microbiota intestinal; y (iii) la eficiencia del proceso de biodegradación está influenciada por las características físico-químicas de los polímeros plásticos, particularmente por su peso molecular.

2.3 Definición de términos

Biodegradación: Proceso mediante el cual microorganismos, insectos o larvas descomponen materiales orgánicos o sintéticos, como los plásticos, transformándolos en sustancias más simples, generalmente agua, dióxido de carbono y biomasa (Arela et al., 2020).

Biomasa: Masa total de organismos vivos que consumen o interactúan con el plástico durante la biodegradación, incluyendo larvas, microorganismos y otros agentes biológicos (Kumar et al., 2020).

Biotecnología verde: Uso de organismos vivos o sus enzimas para desarrollar procesos sostenibles que reduzcan el impacto ambiental, como la biodegradación de plásticos (Conforme-García et al., 2024).

Cinética de biodegradación: Velocidad y patrón con los que un material plástico se descompone en el tiempo bajo condiciones específicas (Chamas et al., 2020).

Degradación física: Fragmentación del plástico en partículas más pequeñas debido a factores externos como luz, temperatura o fricción, sin cambio químico significativo (Pfohl et al., 2025).

Degradación química: Alteración de la estructura molecular del plástico mediante reacciones químicas, que pueden ser inducidas por microorganismos, calor o agentes oxidantes (Zhang et al., 2021).

Densidad: Es una magnitud física que expresa la cantidad de masa contenida en un volumen específico de una sustancia o cuerpo (Raviolo et al., 2022).

Digestión simbiótica: Proceso mediante el cual los organismos, como insectos o larvas, dependen de microorganismos presentes en su intestino para descomponer compuestos que no pueden digerir por sí mismos, como ciertos plásticos (Vital-Vilchis & Karunakaran, 2025).

Resiliencia ecológica: Capacidad de un ecosistema para absorber perturbaciones y recuperarse, manteniendo sus funciones esenciales; en el contexto de plásticos, se refiere a la capacidad de reducir la contaminación mediante procesos naturales (Folke et al., 2021).

Termoplásticos: Plásticos que pueden fundirse y moldearse varias veces sin alterar significativamente su estructura química, como el polietileno, el polipropileno y el poliestireno (Al-Salem et al., 2017).

2.4 Hipótesis

La capacidad de biodegradación de termoplásticos bajo condiciones controladas de laboratorio varía entre *Blaptica dubia*, *Tenebrio molitor* y *Zophobas morio*, siendo observable la disminución progresiva de la masa de los plásticos y diferencias en la cinética de biodegradación entre las especies.

2.5 Variables

2.5.1 Variable independiente

- Insectos detritívoros: *Blaptica dubia*, *Tenebrio molitor* y *Zophobas morio*.

2.5.2 Variable dependiente

- Termoplásticos: Polipropileno (PP), poliestireno expandido (EPS) y polietileno de baja densidad (LDPE)

2.6 Operacionalización de variables

Problema	Variable	Dimensión	Subdimensiones	Indicadores	Escala de medición	Técnicas e Instrumentos
¿Cuál es la capacidad de biodegradación de termoplásticos por insectos detritívoros en condiciones de entorno controlado?	Independiente: Insectos detritívoros	<i>Tenebrio molitor</i>	Densidad: 1. 100 unidades 2. 200 unidades 3. 300 unidades	<i>Tenebrio molitor</i> con densidad controlada que tienen la capacidad de degradar Termoplásticos en tiempos controlados.	Ordinal	Observación Ficha de registro
		<i>Zophobas morio</i>	Densidad: 1. 100 unidades 2. 200 unidades 3. 300 unidades	<i>Zophobas morio</i> con densidad controlada que tienen la capacidad de degradar Termoplásticos en tiempos controlados.	Ordinal	Observación Ficha de registro
		<i>Blaptica dubia</i>	Densidad: 1. 100 unidades 2. 200 unidades 3. 300 unidades	<i>Blaptica dubia</i> con densidad controlada que tienen la capacidad de degradar Termoplásticos en tiempos controlados.	Ordinal	Observación Ficha de registro
	Dependiente: Termoplásticos	Polipropileno (PP)	Cinética: 1. Tiempo 2. Cantidad	Degradación de polipropileno (PP) teniendo en consideración en tiempo y masa: Tiempo: T1=7 días, T2=14 días, T3=21 días, T4=28 días, T5=35 días, T6=42 días, T7=49 días, T8=56 días. Masa: 3 gramos Área: 9 cm ²	Ordinal	Observación Ficha de registro
		Poliestireno expandido (EPS)	Cinética: 1. Tiempo 2. Cantidad	Degradación de polipropileno (PP) teniendo en consideración en tiempo y masa: Tiempo: T1=7 días, T2=14 días, T3=21 días, T4=28 días, T5=35 días, T6=42 días, T7=49 días, T8=56 días. Masa: 3 gramos Área: 24 cm ²	Ordinal	Observación Ficha de registro
		Poliétileno de baja densidad (LDPE)	Cinética: 1. Tiempo 2. Cantidad	Degradación de polipropileno (PP) teniendo en consideración en tiempo y masa: Tiempo: T1=7 días, T2=14 días, T3=21 días, T4=28 días, T5=35 días, T6=42 días, T7=49 días, T8=56 días. Masa: 1.5 gramos Área: 24 cm ²	Ordinal	Observación Ficha de registro

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Ámbito temporal y espacial

El estudio experimental sobre la capacidad de biodegradación de plásticos por insectos detritívoros se realizará en los ambientes del Laboratorio de Edafología de la Universidad Nacional de Huancavelica, donde se proporcionarán los acondicionamientos y las condiciones ambientales necesarias para el desarrollo del estudio. Dichos ambientes se encuentran ubicados dentro de la jurisdicción de la provincia de Huancavelica.

3.2 Métodos de Investigación

La investigación se sustentará en los métodos inductivo y deductivo. El enfoque inductivo permitirá analizar casos específicos para obtener conclusiones generales, mientras que el deductivo servirá para contrastar los resultados con fundamentos teóricos. Asimismo, se aplicarán métodos específicos como el descriptivo, estadístico y bibliográfico. El método descriptivo facilitará la observación y análisis del fenómeno en su estado actual. El método estadístico permitirá la recolección, procesamiento e interpretación de datos mediante técnicas paramétricas y no paramétricas, contribuyendo a la toma de decisiones. Finalmente, el método bibliográfico apoyará la recopilación y sistematización

de información proveniente de fuentes secundarias, como libros y artículos científicos. (Medina et al., 2023).

3.2.1 Tipo de investigación

Esta investigación tiene un enfoque cuantitativo experimental, debido a que se manipula de manera deliberada la variable independiente (insectos detritívoros) para medir el potencial de biodegradación de los termoplásticos (variable dependiente) bajo entorno controlado del laboratorio. Esta clasificación coincide con lo expuesto por Vizcaíno et al. (2023), quienes destacan que en investigación cuantitativa experimental se trata de instaurar relaciones de causa - efecto a través del control sistemático de variables.

3.2.2 Nivel de investigación

El estudio se desarrollará bajo un enfoque explicativo, ya que tendrá como finalidad identificar e interpretar las diferencias en el potencial de biodegradación de los termoplásticos entre los insectos detritívoros evaluados (*Blaptica dubia*, *Tenebrio molitor* y *Zophobas morio*). Desde esta perspectiva, y conforme a lo señalado por Medina et al. (2023), la investigación no se limitará a describir los fenómenos observados, sino que buscará comprender las causas y la magnitud de las relaciones entre las variables, lo que permitirá inferir el origen de dichas diferencias mediante el control de condiciones experimentales.

3.2.3 Diseño de investigación

En la investigación se utilizará la experimental factorial completamente al azar de 3 x 3 x 8 diseño, considerando como factores el tipo de larva, la densidad larval y el tiempo de exposición, con el fin de evaluar su efecto sobre la degradación de plásticos y la prueba de Tukey ($p < 0.05$) para las comparaciones de medias de significancia.

El modelo aditivo lineal se muestra de la siguiente manera.

$$Y_{ijkl} = \mu + T_i + D_j + t_k + (TD)_{ij} + (Tt)_{ik} + (Dt)_{jk} + (TDt)_{ijk} + \varepsilon_{ijkl}$$

Donde:

Y_{ijkl} = es la degradación del plástico observada

μ = es la media general

T_i = es el efecto del i-ésimo tratamiento

D_j = es el efecto de la j-ésima densidad

t_k = es el efecto del k-ésimo tiempo

$(TD)_{ij}$, $(Tt)_{ik}$, $(Dt)_{jk}$ = representan las interacciones dobles

$(TDt)_{ijk}$ = es la interacción triple

ε_{ijkl} = es el error experimental

3.3 Población y muestra

3.3.1 Población

La población del presente estudio está constituida por 5400 insectos detritívoros de las especies *Blaptica dubia*, *Tenebrio molitor* y *Zophobas morio*.

3.3.2 Muestra

El tamaño muestral de carácter no probabilístico, de tipo intencional, conformado por insectos detritívoros como se detalla en la siguiente tabla según los grupos de estratos considerados.

Tabla 5

Estructura del tamaño de muestra en estudio.

Tipos de insectos detritívoros	Muestra
<i>Blaptica dubia</i>	1800
<i>Tenebrio molitor</i>	1800

<i>Zophoba morio</i>	1800
Total	5400

Criterios de inclusión: Se incluirá en el estudio individuos vivos que no presenten signos visibles de enfermedad ni daño físico. En el caso de *Blaptica dubia*, se consideraron ejemplares que se encuentren en la etapa de ninfa avanzada, mientras que para *Tenebrio molitor* y *Zophobas morio* se seleccionaron larvas en estadios de desarrollo comparables.

Criterios de exclusión: No se incluyeron en el estudio los individuos muertos, aquellos que presentaban signos evidentes de enfermedad o malformaciones morfológicas visibles. Asimismo, no se consideraron elegibles los ejemplares que registraron niveles elevados de mortalidad durante el período de aclimatación previo a la fase experimental.

3.4 Técnicas, instrumentos y procedimientos para recolección de datos

3.4.1 Técnica

Técnica de observación: La observación directa es una técnica de investigación cualitativa en la cual el investigador observa, registra e interpreta comportamientos, actividades o fenómenos tal como ocurren en su contexto natural, recolectando información en tiempo (Medina et al., 2023)., al utilizar esta técnica nos facilitara a examinar de manera visual los procesos de degradación de los plásticos mediante las larvas y las cucarachas a lo largo del tiempo de prueba.

3.4.2 Instrumento

Fichas de registro: La recopilación y sistematización de la información generada durante el experimento se realizará mediante fichas de registro digitales elaboradas en el software Microsoft Excel. En dichas fichas se consignarán de forma cronológica los valores correspondientes al peso y medición inicial del material termoplástico.

3.4.3 Procedimientos para recolección de datos

3.4.3.1 Adquisición del material biológico

Los insectos detritívoros *Blaptica dubia* (1800 unidades), *Tenebrio molitor* (1800 unidades) y *Zophoba morio* (1800 unidades) serán adquiridos de la empresa denominado “granjita de insectos” que se encuentra ubicado en la ciudad de Trujillo de procedencia del país de Brasil. Los insectos detritívoros serán trasladados en recipientes plásticos (táperes) provistos de pequeños orificios que permiten una adecuada ventilación y serán colocados dentro de una caja de transporte, esto facilitará el ingreso de aire y, mantendrá a los insectos en un ambiente oscuro, condición favorable para reducir el estrés durante el traslado. Serán enviados a través de la empresa de transporte Shalom hasta la ciudad de Huancavelica en un tiempo estimado entre 2 y 3 días de transporte (Albarracín y Clavijo, 2021).

Durante el transporte, los insectos detritívoros serán acondicionados en táperes con salvado de trigo como fuente alimenticia. En el caso de *Blaptica dubia*, se incorporarán tapas de huevo para proporcionar refugio y áreas de descanso, contribuyendo a mantener condiciones adecuadas durante el traslado (Kuan, et al., 2022).

3.4.3.2 Acondicionamiento del ambiente

Para favorecer la adaptación y el desarrollo de *Blaptica dubia*, *Tenebrio molitor* y *Zophobas morio*, se implementará un ambiente controlado acorde a sus requerimientos fisiológicos. La temperatura se mantendrá entre 25 y 30 °C mediante la instalación de tres estufas de cuarzo de 2000w 4 Lados (NSB-200B1, Quartz Heater: China), con monitoreo continuo a través de un termómetro ambiental. La humedad relativa se regulará entre 40 % y 60 %. Asimismo, las ventanas se cubrirán con papel negro para restringir el ingreso de luz natural,

considerando la sensibilidad de estas especies a exposiciones lumínicas prolongadas (Cabello, et al., 2023).

Para el alojamiento de los insectos se emplearán 27 cajas estelar de $55 \times 35 \times 45$ cm, las cuales funcionarán como unidades de hábitat. En cada caja se realizarán dos orificios en la tapa para asegurar una adecuada ventilación y, adicionalmente, se recubrirán externamente con plástico negro con el fin de impedir el ingreso de luz.

En el interior de cada caja se colocará avena, que cumplirá la función de sustrato y fuente alimenticia. La cantidad suministrada variará según la densidad poblacional de cada caja, aplicándose 100 g, 100 g y 200 g para densidades de 100, 200 y 300 individuos por especie de insectos, respectivamente. Asimismo, se incorporarán tapas de cartón de huevo de 5×15 cm, que servirán como refugio y áreas de descanso, permitiendo optimizar el uso del espacio tridimensional. En el caso de las larvas de *Tenebrio molitor* y *Zophobas morio*, se añadirá algodón como material para la oviposición.

Para facilitar la identificación y el control experimental, cada caja será rotulada con etiquetas que indiquen la especie y el número de individuos contenidos en la experimentación como se muestra en la (Figura 6).

Figura 6

Esquema del estudio de los insectos detritívoros

								
		LDPE	PP	PS		LDPE	PP	PS
Tratamiento L1		100	100	100	Tratamiento L2	100	100	100
		200	200	200		200	200	200
<i>Tenebrio molitor</i>		300	300	300	<i>Zophoba morio</i>	300	300	300

				
		LDPE	PP	PS
Tratamiento L3		100	100	100
		200	200	200
<i>Blaptica dubia</i>		300	300	300

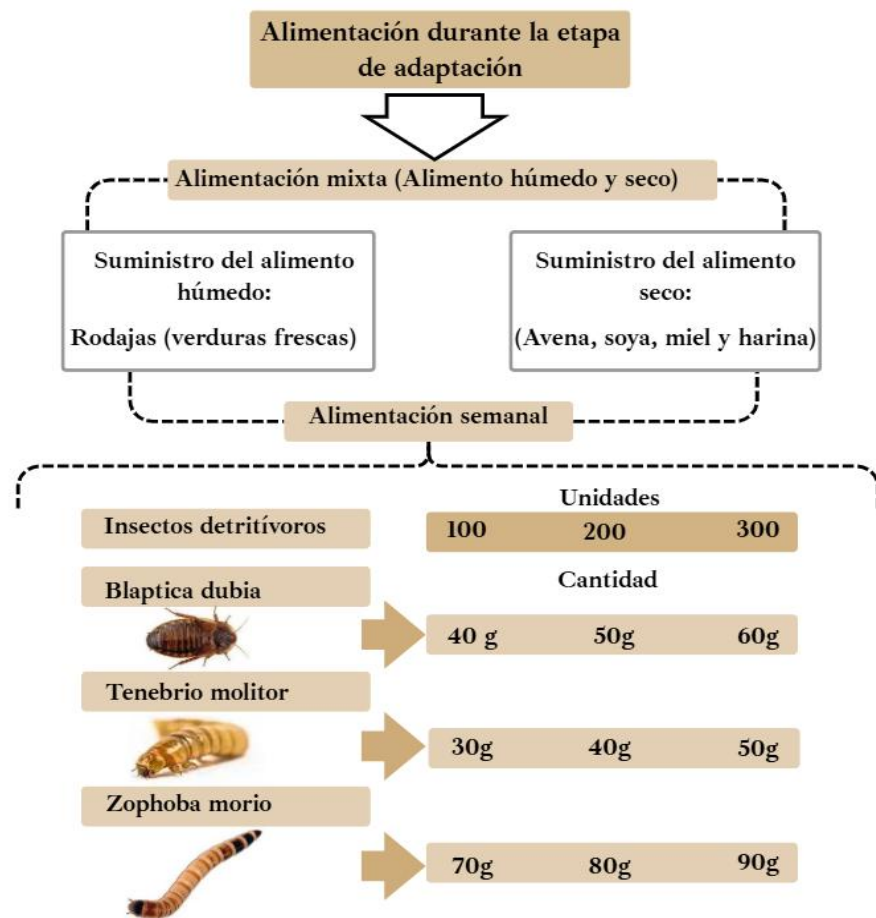
3.4.3.3 Adaptación de insectos detritívoros

Una vez concluido el acondicionamiento y definidos los tratamientos, se desarrollará una fase de adaptación para los insectos detritívoros. Su alimentación se realizará de manera controlada mediante el suministro de alimento húmedo y seco. Los alimentos húmedos (vegetales frescos), se proporcionarán en rodajas, distribuidas directamente en las cajas experimentales para facilitar su consumo para mejorar su perfil nutricional tras suplementar sus dietas con residuos vegetales (Lòpez et al., 2024). Todo el alimento será previamente pesado con el fin de estandarizar las cantidades suministradas en cada unidad experimental. La cantidad total de alimento proporcionado se establecerá en función de la densidad poblacional de cada caja y de manera inter diaria ya que estos alimentos mixtos proporcionan una buena hidratación y como complemento se rociará agua destilada con el fin de mantener la humedad relativa de 40% y 60%. Este procedimiento se aplicará de forma uniforme a los tres insectos

detritívoros, garantizando condiciones homogéneas previo al inicio de la fase experimental (Ribeiro et al., 2018), como se observa en la (Figura 7).

Figura 7

Esquema de la alimentación de los insectos detritívoros



La limpieza de las cajas experimentales se efectuará de manera semanal, en este proceso se retirarán los restos de alimento no consumido, excretas y otros desechos biológicos acumulados, a fin de mantener condiciones sanitarias adecuadas y prevenir la proliferación de microorganismos indeseables. Las actividades de limpieza se realizarán siguiendo protocolos de bioseguridad, utilizando guantes y materiales adecuados para evitar la contaminación cruzada entre cajas experimentales. Todos los residuos sólidos generados durante la

alimentación y limpieza de las cajas serán segregados y depositados en el tacho rojo para luego someterlo a un proceso de incineración, conforme a las normativas de gestión de residuos peligrosos y bioseguridad vigentes en el laboratorio.

El periodo de adaptación será de 8 semanas permitiendo la estabilización fisiológica de las larvas y la reorganización de su microbiota intestinal antes de iniciar ensayos de biodegradación, asegurando homogeneidad en las condiciones iniciales y una respuesta metabólica estable previo al inicio de la fase de exposición a los termoplásticos. (Yang et al., 2015; Brandon et al., 2018).

3.4.3.4 Control de la reproducción de los insectos detritívoros

Para garantizar la validez experimental y evitar sesgos poblacionales, se implementará un control estricto de la reproducción durante la etapa de adaptación y antes de la exposición a los termoplásticos. Asimismo, se evaluará el estado biológico y reproductivo en sus diferentes etapas de desarrollo, con el fin de obtener 1800 larvas por cada especie en condiciones controladas. Las poblaciones estarán conformadas predominantemente por larvas y ninfas, seleccionadas previamente mediante tamizado y observación directa. Se evitará la coexistencia prolongada de adultos reproductivos, especialmente en el caso de *Tenebrio molitor* y *Zophobas morio*, con el fin de reducir la oviposición durante esta etapa. En las cajas donde se identifique la presencia de pupas o adultos emergentes, estos individuos serán retirados manualmente a otras cajas, registrándose el evento, para mantener la estructura poblacional estable (Di Liberto et al., 2024). La duración de la etapa de reproducción se limitará a aproximadamente 8 semanas, periodo que favorecerá ciclos reproductivos completos en condiciones controladas.

a. *Tenebrio molitor*

En esta especie se evaluaron el tipo de desarrollo donde se consideran el desarrollo de la metamorfosis completa (huevo, larva, pupa, adulto) considerándose según lo establecido por Vommaro et al. (2024) como se detalla.

➤ **Huevos:**

Se realizará una inspección visual en los algodones colocados en las respectivas cajas para detectar la presencia de huevos. En caso de observarse, serán retirados manualmente para evitar la eclosión.

➤ **Larvas:**

Las larvas serán evaluadas mediante observaciones de movilidad, respuesta al estímulo, integridad corporal, tamaño y supervivencia.

➤ **Pupas:**

La aparición de pupas será registrada y estas serán retiradas inmediatamente para evitar la emergencia de adultos reproductivos.

➤ **Adultos:**

Los adultos emergentes no serán mantenidos en las cajas experimentales y serán retirados al momento de su detección.

b. *Zophoba morio*

Esta especie es muy sensible por lo que se evaluarán el tipo de desarrollo donde se considerarán la metamorfosis completa, con ciclo larvario prolongado. En *Zophoba morio*, el ciclo larvario es considerablemente más largo, lo que facilita el mantenimiento de larvas activas sin inducir reproducción durante el periodo de adaptación por lo tanto se evaluarán sus etapas de desarrollo como se detalla (Urbanek et al., 2024).

➤ **Huevos:**

La oviposición ocurre únicamente en adultos, por lo que se evitará la presencia de escarabajos reproductivos.

➤ **Larvas:**

Las larvas serán monitoreadas en cuanto a crecimiento, comportamiento alimenticio y supervivencia, constituyendo la fase principal del estudio.

➤ **Pupas:**

Dado que la pupación en esta especie ocurre principalmente bajo condiciones específicas (como aislamiento), cualquier pupa detectada será retirada y registrada.

➤ **Adultos:**

Los adultos no serán incorporados al sistema experimental durante la etapa previa a la exposición a termoplásticos.

c. *Blaptica dubia*

Se evaluarán el tipo de desarrollo considerándose la metamorfosis incompleta (ooteca interna, ninfa, adulto). *Blaptica dubia* presenta una estrategia reproductiva ovovivípara, en la cual la hembra retiene la ooteca dentro de su cuerpo, por lo que no se observan huevos externos en el sustrato. Esta característica requiere un enfoque distinto de control reproductivo (Atuesta y Colorado, 2024).

➤ **Ooteca interna:**

Al no ser visibles, el control se basará en la gestión de la población adulta, evitando condiciones que favorezcan la reproducción continua.

➤ **Ninfas:**

Las ninfas serán la fase predominante, evaluándose su tamaño, movilidad, coloración y supervivencia.

➤ **Adultos:**

La presencia de adultos, especialmente hembras, será monitoreada cuidadosamente. En caso de observar nacimientos de ninfas, se registrará el evento y se realizará la redistribución o retiro de individuos para mantener la densidad estable.

3.4.3.5 Distribución experimental

Para poder iniciar el proceso experimental, se verificó que los organismos se encontraran en la etapa biológicamente más eficiente para el consumo de plásticos: larvas de (*Tenebrio molitor* y *Zophobas atratus*), así como ninfas de (*Blaptica dubia*). Etapa en la que presentan mayor actividad alimentaria y capacidad digestiva, factores fundamentales para la ingestión y degradación de termoplástico (Jiang et al., 2021).

La distribución se realizará de manera estructurada, de acuerdo con el siguiente orden, se dispone de 3 insectos detritívoros (*Blaptica dubia*, *Tenebrio molitor* y *Zophoba morio*) y 9 cajas experimentales por especie, totalizando 27 cajas en el experimento, las nueve cajas experimentales se distribuyen en 3 grupos correspondientes a los 3 tipos de termoplásticos con 3 cajas por cada tipo, en la densidad poblacional se tendrá 3 niveles: 100, 200 y 300 insectos detritívoros por caja totalizando 1800 insectos detritívoros por especie y 5400 insectos detritívoros en total como se detalla en la siguiente Tabla 6.

Tabla 6

Distribución de insectos detritívoros para el experimento.

Insectos detritívoros (Tratamiento)	Densidad	Tipo de plástico	# de caja estelar
L1 <i>Tenebrio molitor</i>	100	Polietileno de baja densidad (LDPE))	3
		Polipropileno (PP	
		Poliestireno expandido (EPS)	
	200	Polietileno de baja densidad (LDPE))	3

		Polipropileno (PP	
		Poliestireno expandido (EPS)	
		Polietileno de baja densidad (LDPE))	
300		Polipropileno (PP	3
		Poliestireno expandido (EPS)	
Sub total	1800	3	9
		Polietileno de baja densidad (LDPE))	
100		Polipropileno (PP	3
		Poliestireno expandido (EPS)	
L2 <i>Zophoba morio</i>	200	Polietileno de baja densidad (LDPE))	
		Polipropileno (PP	3
		Poliestireno expandido (EPS)	
	300	Polietileno de baja densidad (LDPE))	
		Polipropileno (PP	3
		Poliestireno expandido (EPS)	
Sub total	1800	3	9
		Polietileno de baja densidad (LDPE))	
100		Polipropileno (PP	3
		Poliestireno expandido (EPS)	
L3 <i>Blaptica dubia</i>	200	Polietileno de baja densidad (LDPE))	
		Polipropileno (PP	3
		Poliestireno expandido (EPS)	
	300	Polietileno de baja densidad (LDPE))	
		Polipropileno (PP	3
		Poliestireno expandido (EPS)	
Sub total	1800	3	9
Total	5400	3 tipos de plástico	27

Este esquema experimental permitirá asegurar una distribución homogénea de los insectos detritívoros, mantener la comparabilidad entre tratamientos y garantizar condiciones estandarizadas durante la etapa de adaptación previa al desarrollo de la fase experimental.

3.4.3.6 Experimentación del proceso de degradación de los termoplásticos

En esta etapa se llevará a cabo la exposición directa de los organismos experimentales a los distintos tipos de termoplásticos, bajo condiciones controladas y diferenciando los tratamientos testigo y con adición de extracto de zanahoria. Para ello, se seleccionarán individuos según su etapa de desarrollo y serán distribuidos en recipientes experimentales previamente acondicionados, asegurando uniformidad en la cantidad de organismos y en las características físicas del material plástico utilizado. Para lo cual se tendrá que estandarizar las dimensiones y el peso de cada tipo de termoplástico que se empleará, con el fin de garantizar la comparabilidad entre tratamientos y la validez del proceso experimental.

A continuación, se presenta la sistematización de la exposición experimental de los organismos a los termoplásticos (Tabla 7).

Tabla 7

Organismos experimentales y etapa de desarrollo.

Especie de insectos detritívoros	Etapas seleccionada	Nº unidades testigo	Nº unidades con extracto de zanahoria	Tiempo de aplicación
<i>Blaptica dubia</i>	Ninfa avanzada	20	20	8 semanas
<i>Tenebrio molitor</i>	Larvaria	20	20	8 semanas
<i>Zophoba morio</i>	Larvaria	20	20	8 semanas

3.4.3.7 Observación y registro del consumo del termoplástico

Durante el periodo experimental se va a realizar la observación directa del comportamiento de los organismos y el registro del consumo de los termoplásticos. La evaluación se efectuará cada siete días, durante ocho intervalos de medición, considerando el área consumida por cada unidad de plástico y el peso total correspondiente a los 20 fragmentos proporcionados por tratamiento. Las dimensiones y el peso

de los fragmentos se establecerán en función de la densidad de cada tipo de termoplástico. Para el polipropileno (PP), al presentar mayor masa y menor volumen, se considerará una dimensión de 3×3 cm y un peso de 3,00 mg, a fin de no exceder el peso total correspondiente a los 20 fragmentos.

En el caso del polietileno de baja densidad (PELD), debido a su menor masa y mayor volumen, se emplearán dimensiones de 4×6 cm y un peso de 1,50 mg, con el propósito de evitar la acumulación excesiva de volumen. Para el poliestireno expandido (EPS), caracterizado por su baja masa y volumen intermedio, se utilizarán fragmentos de 4×6 cm con un peso de 3,00 mg, manteniendo así un volumen experimental adecuado. Estas especificaciones se presentan en la Tabla 8.

Tabla 8

Características del material termoplástico que será utilizado.

Tipo de termoplástico	Dimensiones	Peso general	Aplicación (4 semanas)	Aplicación (4 semanas)
Polipropileno (PP)	3x3 cm	3.00 mg	Plástico con zanahoria	Plástico sin zanahoria
Polietileno de baja densidad (PELD)	4x6 cm	1.50 mg	Plástico con zanahoria	Plástico sin zanahoria
Poliestireno expandido (EPS)	4x6 cm	3.00 mg	Plástico con zanahoria	Plástico sin zanahoria

La medición del área degradada se realizará mediante el uso calibrador digital, aplicada a las tres especies evaluadas y para ambos tratamientos (plástico testigo y plástico con extracto de zanahoria). Posteriormente a cada registro, los fragmentos del tratamiento testigo serán reubicados en sus recipientes experimentales, mientras que los plásticos del tratamiento con zanahoria serán nuevamente acondicionados mediante la aplicación del extracto, previo a su reincorporación al sistema experimental. De manera complementaria, se efectuará un registro morfológico de los termoplásticos a lo largo del proceso de investigación.

3.4.3.8 *Medición y registro de datos cuantitativos*

Al finalizar el periodo de exposición, se efectuará la medición del peso final de los termoplásticos con la finalidad de determinar la variación de masa asociada al consumo por parte de los organismos. Para ello, los fragmentos plásticos serán retirados de los recipientes experimentales, limpiados cuidadosamente para eliminar residuos orgánicos o humedad superficial y posteriormente pesados en una balanza de precisión, manteniendo las mismas condiciones utilizadas en la medición inicial.

La variación de masa se establecerá mediante la comparación entre el área inicial y área final de cada unidad experimental, el peso inicial y el peso final de cada correspondiente a los 20 fragmentos experimentales, considerando tanto los tratamientos testigo como aquellos con adición de extracto de zanahoria y para cada tipo de termoplástico evaluado.

Todos los datos obtenidos serán registrados de forma sistemática en matrices de control y posteriormente organizados en una hoja de cálculo en Microsoft Excel.

La base de datos incluye las variables como especie en estudio, densidad de larvas, tipo de termoplástico, peso inicial, peso final, área inicial, área final y tipo de tratamiento, con el fin de facilitar su procesamiento, análisis comparativo e interpretación estadística. Como se observa en la Figura 8.

Figura 8

Ficha de registro de base datos de la evaluación de los termoplásticos

FICHA DE REGISTRO																									
DEGRADACION DE PLASTICO ETAPA EXPERIMENTAL																									
ESPECIE EN ESTUDIO	DENSIDAD DE LARVAS	TIPOS DE PLASTICO	DIAMTER O INICIAL	P. INICIAL	T1																				
					AREA CONSUMIDO (ZANAHORIA)										AREA CONSUMIDO (TESTIGO)										AREA TOTAL
					P1	P2	P2	P4	P5	.	.	.	P19	P20	P1	P2	P3	P4	P5	.	.	.	P19	P20	
ZOPHOBAS	100 LARVAS	PP (J2)	3x3	3.00																					
		PE-LD (J3)	4x6	1.50																					
		EPS (J1)	4x6	3.00																					
	200 LARVAS	PP (J5)	3x3	3.00																					
		PE-LD (J6)	4x6	1.50																					
		EPS (J4)	4x6	3.00																					
	300 LARVAS	PP (J8)	3x3	3.00																					
		PE-LD (J9)	4x6	1.50																					
		EPS (J7)	4x6	3.00																					
DUBIAS	100 LARVAS	PP (J2)	3x3	3.00																					
		PE-LD (J3)	4x6	1.50																					
		EPS (J1)	4x6	3.00																					
	200 LARVAS	PP (J5)	3x3	3.00																					
		PE-LD (J6)	4x6	1.50																					
		EPS (J4)	4x6	3.00																					
	300 LARVAS	PP (J8)	3x3	3.00																					
		PE-LD (J9)	4x6	1.50																					
		EPS (J7)	4x6	3.00																					
TENEBRIOS	100 LARVAS	PP (J2)	3x3	3.00																					
		PE-LD (J3)	4x6	1.50																					
		EPS (J1)	4x6	3.00																					
	200 LARVAS	PP (J5)	3x3	3.00																					
		PE-LD (J6)	4x6	1.50																					
		EPS (J4)	4x6	3.00																					
	300 LARVAS	PP (J8)	3x3	3.00																					
		PE-LD (J9)	4x6	1.50																					
		EPS (J7)	4x6	3.00																					

3.5 Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Los datos serán tabulados en una hoja de cálculo de Microsoft Excel y posteriormente analizados mediante un ANOVA factorial de tres vías, con un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$, para determinar la existencia de diferencias significativas entre tratamientos, así como el efecto de la densidad larval, el tiempo y la posible interacción entre estos factores. Para la identificación de diferencias significativas entre medias, se aplicará la prueba de comparación múltiple de Tukey ($p \leq 0.05$), utilizando el paquete estadístico SPSS versión 22.0.

CAPÍTULO IV

ASPECTO ADMINISTRATIVO

4.1 Recurso humano

Se cuenta con el apoyo de un equipo técnico externo. De igual forma se cuenta con un asesor a dedicación exclusiva y los Tesistas.

4.2 Materiales y equipos

Se cuenta con los materiales necesarios y la logística por parte de los Tesistas lo cual contribuirá para la evaluación total de los variables en estudio y para asegurar la homogeneidad de actividades que permitan obtener resultados precisos y confiables.

Materiales de laboratorio	
Algodón	Material absorbente utilizado para limpieza, desinfección y manipulación de muestras en el laboratorio.
Vaso precipitado 100 ml	Recipiente para contener, calentar, disolver o preparar muestras líquidas, sólidas o reactivas.
Papel toalla	Papel absorbente utilizado para limpieza, secado de material y control de derrames.
Bata quirúrgica descartable	Bata quirúrgica descartable utilizados para proteger al personal y evitar la contaminación de muestras.
Guantes quirúrgicos	Guantes desechables utilizados para proteger al personal y evitar la contaminación de muestras.

Mascarillas quirúrgicas	Equipo de protección que cubre nariz y boca para evitar la contaminación y proteger al usuario.
Cofias	La cofia es una prenda o gorro que se usa en la cabeza para cubrir el cabello.
Cubrecazado	Prenda que sirve para evitar llevar suciedad o microorganismos del exterior al laboratorio o viceversa.
Tachos	Contenedor que se utilizan para almacenar o desechar residuos.
Caja estelar	Caja que usa como recipiente o estructura para almacenar.
Rosador	Sirve para aplicar líquidos en forma de spray, como agua o soluciones.
Vasos de Polipropileno (PP)	Se utilizan para contener líquidos o muestras.
Bolsa de Polietileno de Baja Densidad (PELD)	Sirve para almacenar o transportar productos ligeros.
Tapetes de Polietileno Expandido (EPS)	Se usan para conservar alimentos, mantener temperatura y transportar comida.
Zanahoria	Fuente de nutrientes; puede usarse en alimentación o experimentos biológicos.
Beterraga	Se usa como alimento y también como colorante natural en experimentos.
Regla milimétrica metálica	Instrumento que se utiliza para medir con precisión longitudes pequeñas en milímetros.
Plástico	Material versátil usado para envolver, proteger o fabricar recipientes.
Cuchillo	Herramienta para cortar alimentos u otros materiales.
Miel	Endulzante natural con propiedades antimicrobianas; útil en ensayos biológicos.
Avena	Alimento nutritivo; puede servir como sustrato o alimento en experimentos.
Lechuga	Alimento fresco, también usado en estudios de nutrición o biología.
Manzana	Fruta para consumo o experimentos.
Papa	Alimento común, también usada en experimentos.
Estufas de cuarzo de 2000w 4 lados	Equipo para generar calor de forma uniforme en varias direcciones.
Balanza de precisión	Se usa para medir masa con alta exactitud como el pesaje de muestras pequeñas.
Calibrador Digital	Sirve para medir dimensiones con gran precisión longitud, diámetro, etc..
Termómetro ambiental digital	Equipo para controlar las condiciones ambientales (temperatura, humedad, etc..)

<i>Tenebrio Molitro</i>	Gusano de la harina; se usa en estudios biológicos, alimentación animal o reciclaje de residuos.
<i>Zophoba Morio</i>	Gusano utilizado en investigación, alimentación de reptiles y estudios de crecimiento.
<i>Blaptica Dubia</i>	Cucaracha dubia; usada como alimento vivo y en estudios de comportamiento o biología.

Materiales de escritorio	
Papel bond A4/80gr	Papel de uso común para impresión, redacción de informes, registros y documentos
Marcadores indelebles rojo, azul, negro	Plumones de tinta permanente utilizados para etiquetar frascos, muestras y materiales de laboratorio.
Papel bond de colores A4/75gr	Papel ideal para organizar informes, resaltar documentos, realizar manualidades.
Boligrafo color azul y negro.	Lapiceros utilizados para el registro de datos y observaciones
Cinta de embalaje	Cinta adhesiva resistente utilizada para sellar cajas, paquetes o embalajes de materiales.
Archivador	Archivador diseñado para clasificar, almacenar, proteger expedientes, papeles y carpetas colgantes.
Resaltador	Resaltador se utiliza para marcar o resaltar ideas.

Reactivos	
Agua destilada	Agua purificada utilizada para preparar soluciones, reactivos y lavar material de laboratorio.
Cal viva	Oxido de calcio que se utiliza para a desinfeccion de suelos.
Alcohol gel	Solución desinfectante utilizada para la higiene de manos y desinfección rápida.
Jabón líquido	Producto utilizado para la limpieza de manos y material de laboratorio.
Lejía para laboratorio	Solución desinfectante a base de hipoclorito utilizada para desinfectar superficies y materiales.
Detergente	Producto de limpieza utilizado para lavar materiales y utensilios de laboratorio.
Alcohol de 96 °	Alcohol de alta concentración utilizado para desinfección y preparación de soluciones.
Alcohol de 70°	Solución alcohólica utilizada para la desinfección de superficies, materiales y equipos de laboratorio.

Servicios especializados	
Análisis y procesador estadístico	Servicio por procesamiento estadístico.
Tabulador de base de datos	Servicio técnico para apoyo en análisis y procesamiento de datos en laboratorio.
Traductor de idioma	Servicio profesional de traducción de documentos científicos.
Redactor de artículo científico	Servicio profesional para la redacción y corrección de artículos científicos para publicación.

Otros	
Encomiendas especificar	Envío y transporte de materiales desde el lugar de ventas hacia el laboratorio de análisis.
Eventos académicos especificar	Inscripción, participación y certificación en congresos, seminarios o talleres científicos para la difusión de resultados del proyecto.
Encuadernación y empastado	Encuadernación y empastado de tesis y documentos.
Copias, fotocopias, etc.	Reproducción de documentos, fichas de campo, cuestionarios, informes parciales y finales necesarios para la ejecución y sustención del proyecto.

4.3 Cronograma de actividades

COMPONENTES Y ACTIVIDADES	2026						2027							
	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A
COMPONENTE 1: Adquisición de material biológico														
A1: Compra de insectos detritívoros <i>Blaptica dubia</i>														
A2: Compra de insectos detritívoros <i>Tenebrio molitor</i>														
A3: Compra de insectos detritívoros <i>Zophoba morio</i>														
COMPONENTE 2: Acondicionamiento del ambiente														
A1: Adecuación de condiciones ambientales														
A2: Acondicionamiento lumínico del ambiente														
A3: Acondicionamiento de cajas estelar (55 × 35 × 45 cm)														
COMPONENTE 3: Adaptación de insectos detritívoros														
A1: Manejo y estandarización de la alimentación														
A2: Adaptación a condiciones ambientales														
A3: Mantenimiento sanitario y gestión de residuos sólidos														
COMPONENTE 4: Control de la reproducción de los insectos detritívoros														
A1: Evaluación del estado biológico y reproductivo de <i>Blaptica dubia</i>														
A2: Evaluación del estado biológico y reproductivo de <i>Tenebrio molitor</i>														
A3: Evaluación del estado biológico y reproductivo de <i>Zophoba morio</i>														

4.4 Presupuesto

[illegible]

2.3.1.8.2.1	Zanahoria	Fuente de nutrientes; puede usarse en alimentación o experimentos biológicos.	Kg	40	2															80		
2.3.1.8.2.1	Beterraga	Se usa como alimento y también como colorante natural en experimentos.	Kg	8	2															16		
2.3.1.8.2.1	Regla milimetrica metalica	Instrumento que se utiliza para medir con precisión longitudes pequeñas en milímetros.	UND	2	4															8		
2.3.1.8.2.1	Plástico	Material versátil usado para envolver, proteger o fabricar recipientes.	METRO	12	3															36		
2.3.1.8.2.1	Cuchillo	Herramienta para cortar alimentos u otros materiales.	UND	2	10															20		
2.3.1.8.2.1	Miel	Endulzante natural con propiedades antimicrobianas; útil en ensayos biológicos.	Kg	1	45															25		
2.3.1.8.2.1	Avena (10Kg/Bolsa)	Alimento nutritivo; puede servir como sustrato o alimento en experimentos.	UND	4	60															45		
2.3.1.8.2.1	Lechuga	Alimento fresco, también usado en estudios de nutrición o biología.	UND	4	2.5															10		
2.3.1.8.2.1	Manzana	Fruta para consumo o experimentos.	UND	8	4															32		
2.3.1.8.2.1	Papa	Alimento común, también usada en experimentos.	Kg	10	1.5															15		
2.3.1.8.2.1	Estufas de cuarzo de 2000w 4 lados	Equipo para generar calor de forma uniforme en varias direcciones.	UND	3	150															450		
2.3.1.8.2.1	Balanza de presicion	Se usa para medir masa con alta exactitud como el pesaje de muestras pequeñas.	UND	1	400															400		
2.3.1.8.2.1	Calibrador Digital	Sirve para medir dimensiones con gran precisión longitud, diametro, etc..	UND	1	400															400		
2.3.1.8.2.1	Termometro ambiental digital	Equipo para controlar las condiciones ambientales (temperatura, humedad, etc..)	UND	1	110															100		
2.3.1.8.2.1	<i>Tenebrio Molitor</i>	Gusano de la harina; se usa en estudios biológicos, alimentación animal o reciclaje de residuos.	MILLAR	2	100															200		
2.3.1.8.2.1	<i>Zophoba Morio</i>	Gusano utilizado en investigación, alimentación de reptiles y estudios de crecimiento.	MILLAR	2	200															400		
2.3.1.8.2.1	<i>Blaptica Dubia</i>	Cucaracha dubia; usada como alimento vivo y en estudios de comportamiento o biología.	MILLAR	2	400															800		
II. MATERIALES DE ESCRITORIO																						
2.3.15.12	Papel bond A4/80gr	Papel de uso común para impresión, redacción de informes, registros y documentos	MILLAR	1	20															20	255	2.55%

2.3.15.12	Marcadores indelebles rojo, azul, negro	Plumones de tinta permanente utilizados para etiquetar frascos, muestras y materiales de laboratorio.	UND	9	4															36		
2.3.15.12	Papel bond de colores A4/75gr	Papel ideal para organizar informes, resaltar documentos, realizar manualidades.	CIENTO	1	12															12		
2.3.15.12	Boligrafo color azul y negro.	Lapiceros utilizados para el registro de datos y observaciones	CAJA	1	25															25		
2.3.15.12	Cinta de embalaje	Cinta adhesiva resistente utilizada para sellar cajas, paquetes o embalajes de materiales.	DOCENA	2	36															72		
2.3.15.12	Archivador	Archivador diseñado para clasificar, almacenar, proteger expedientes, papeles y carpetas colgantes.	UNIDAD	2	10															20		
2.3.15.12	Resaltador	Resaltador se utiliza para marcar o resaltar ideas.	DOCENA	2	35															70		
III. REACTIVOS																						
2.3.199.12	Agua destilada X 20LITROS	Agua purificada utilizada para preparar soluciones, reactivos y lavar material de laboratorio.	GALONES	5	25															125		
2.3.199.12	Cal viva	Oxido de calcio que se utiliza para a desinfeccion de suelos.	KG	2	12															24		
2.3.199.12	Alcohol gel x 1000ml	Solución desinfectante utilizada para la higiene de manos y desinfección rápida.	DOCENA	1	50															50		
2.3.15.31	Jabón líquido x1000ml	Producto utilizado para la limpieza de manos y material de laboratorio.	DOCENA	1	50															50		
2.3.15.31	Lejía para laboratorio 4LITROS	Solución desinfectante a base de hipoclorito utilizada para desinfectar superficies y materiales.	GALONES	4	12															48		
2.3.15.31	Detergente	Producto de limpieza utilizado para lavar materiales y utensilios de laboratorio.	KG	5	10															50		
2.3.199.12	Alcohol de 96 °	Alcohol de alta concentración utilizado para desinfección y preparación de soluciones.	DOCENA	1	60															60		
2.3.199.12	Alcohol de 70°	Solución alcohólica utilizada para la desinfección de superficies, materiales y equipos de laboratorio.	DOCENA	1	60															60		
IV. SERVICIOS ESPECIALIZADOS																						
2.3.2.7.14.98	Análisis y procesador estadístico	Servicio por procesamiento estadístico.	SERVICIO	1	500															500	3000	30%

2.3.2.7.14.98	Tabulador de base de datos	Servicio tecnico para apoyo en analisis y procesamiento de datos en laboratorio.	SERVICIO	1	1000															1000		
2.3.2.7.14.98	Traductor de idioma	Servicio profesional de traducción de documentos científicos.	SERVICIO	1	300															300		
2.3.2.7.14.98	Redactor de artículo científico	Servicio profesional para la redacción y corrección de artículos científicos para publicación.	SERVICIO	1	1200															1200		
V. OTROS GASTOS																						
2.6.7.1.4.3	Encomiendas especificar	Envío y transporte de materiales desde el lugar de ventas hacia el laboratorio de analisis.	GLOBAL	1	75															75		
2.6.7.1.4.3	Eventos académicos especificar	Inscripción, participación y certificación en congresos, seminarios o talleres científicos para la difusión de resultados del proyecto.	GLOBAL	1	770															770		
2.3.2.7.14.98	Encuadernación y empastado	Encuadernación y empastado de tesis y documentos.	UND	4	30															120	1055	10.55%
2.3.2.7.14.98	Copias, fotocopias, etc.	Reproducción de documentos, fichas de campo, cuestionarios, informes parciales y finales necesarios para la ejecución y sustención del proyecto.	GLOBAL	1	90															90		
Total S/.																				10000	10000	100

4.5 Financiamiento

El presente proyecto será financiado por los recursos de VRI (Vicerrectorado de Investigación) mediante la subvención económica a graduados y estudiantes de pregrado para el desarrollo de proyectos de tesis 2026 de la Universidad Nacional de Huancavelica.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adhikary, S. K., & Ashish, D. K. (2022). Turning waste expanded polystyrene into lightweight aggregate: Towards sustainable construction industry. *Science of the Total Environment*, 837, 155852. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155852>
- Albarracín Liendo, R. L., & Clavijo Koc, C. V. (2021). Condiciones ambientales y biológicas del *Tenebrio molitor* en la degradación del poliestireno. *Ingeniería Investiga*, 3(2), 53–61. <https://doi.org/10.47796/ing.v3i2.531>
- Al-Salem, S., Antelava, A., Constantinou, A., Manos, G., & Dutta, A. (2017). A review on thermal and catalytic pyrolysis of plastic solid waste (PSW). *Journal of Environmental Management*, 197, 177–198. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.03.084>
- Ali, S. S., Elsamahy, T., Koutra, E., Kornaros, M., El-Sheekh, M., Abdelkarim, E. A., Zhu, D., & Sun, J. (2021). Degradation of conventional plastic wastes in the environment: A review on current status of knowledge and future perspectives of disposal. *Science of the Total Environment*, 771, 144719. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144719>
- Álvarez, D. N., & Botache, L. M. (2020). *Biodegradación de plástico con larvas del coleóptero Tenebrio molitor como un aporte interdisciplinar a la biotecnología ambiental* [Tesis de pregrado, Universidad Pedagógica Nacional]. Repositorio Institucional de la Universidad Pedagógica Nacional. <http://hdl.handle.net/20.500.12209/12205>
- Amaral-Zettler, L. A., Zettler, E. R., & Mincer, T. J. (2020). Ecology of the plastisphere. *Nature Reviews Microbiology*, 18(3), 139–151. <https://doi.org/10.1038/s41579-019-0308-0>
- Arela, M. C., Masco, F. S., Churac, R. A. C., Huamán, M. A. M., & Paucar, M. A. C. (2020). Biodegradación de polímeros de plástico por *Pseudomonas*. *Revista*

de Investigación Ciencia, Tecnología y Desarrollo, 6(2), 46–59.
<https://doi.org/10.17162/rictd.v6i2.1457>

Atuesta, A. J. R., & Colorado, N. R. (2024). *Generalidades de la Blaptica dubia*. ResearchGate. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.10907.78888>

Blanco, L., & Catarí, E. (2024). Polímero termoplástico: Polipropileno. *Ciencia en Revolución*, 9(26), 476–509.
<https://cienciaenrevolucion.com.ve/index.php/cienciaenrevolucion/article/view/87>

Boctor, J., Pandey, G., Xu, W., Murphy, D. V., & Hoyle, F. C. (2024). Nature's plastic predators: A comprehensive and bibliometric review of plastivore insects. *Polymers*, 16(12), 1671. <https://doi.org/10.3390/polym16121671>

Brandon, A. M., Gao, S.-H., Tian, R., Ning, D., Yang, S.-S., Zhou, J., Wu, W.-M., & Criddle, C. S. (2018). Biodegradation of polyethylene and plastic mixtures in mealworms (larvae of *Tenebrio molitor*) and effects on the gut microbiome. *Environmental Science & Technology*, 52(11), 6526–6533.
<https://doi.org/10.1021/acs.est.8b02301>

Bulak, P., Proc, K., Pytlak, A., Bieganski, A., & Jaworska, M. (2021). Biodegradation of different types of plastics by *Tenebrio molitor* insect. *Polymers*, 13(20), 3508. <https://doi.org/10.3390/polym13203508>

Cabello-Torres, R. J., Lindo, M. M. B., Estrada, S. G., & Ramírez, J. P. (2023). Biomechanical recycling of plastic waste using *Tenebrio molitor* larvae. *Chemical Engineering Transactions*, 102, 319–324.
<https://doi.org/10.3303/CET23102054>

Caruajulca Marín, L. M., & Huamán Ventura, K. Y. (2024). *Degradación de poliestireno expandido por bacterias cultivables asociadas al intestino de larvas de Tenebrio molitor* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo]. <https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/13255>

- Castro, K. I., & Muñoz, A. M. E. (2023). *Biodegradación con larvas de Zophobas morio en residuos de poliuretano y polipropileno* [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/132142>
- Chamas, A., Moon, H., Zheng, J., Qiu, Y., Tabassum, T., Jang, J. H., & Abu-Omar, M. M. (2020). Degradation rates of plastics in the environment. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 8(9), 3494–3511. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.9b06635>
- Chelomin, V. P., Dovzhenko, N. V., Slobodskova, V. V., & others. (2023). Expanded polystyrene-debris-induced genotoxic effect in littoral organisms. *Toxics*, 11(9), 781. <https://doi.org/10.3390/toxics11090781>
- Choy, C. A., Robison, B. H., Gagne, T. O., et al. (2019). The vertical distribution and biological transport of marine microplastics. *Scientific Reports*, 9(1), 7843. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-44117-2>
- Clere, I. K., Ahmmed, F., Remoto, P. I. J. G., et al. (2022). Quantification and characterization of microplastics in commercial fish. *Marine Pollution Bulletin*, 184, 114121. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.114121>
- Conforme-García, M. M., Dávila-Ulloa, M., Sarango-Ordóñez, J. P., & Medina-Gahona, G. A. (2024). Estrategias de biotecnología verde. *Código Científico Revista de Investigación*, 5(E3), 119–144. <https://doi.org/10.55813/gaea/ccri/v5/nE3/313>
- Darwin, C. (1859). *On the origin of species by means of natural selection*. John Murray.
- Di Liberto, E. A., Battaglia, G., Pellerito, R., & others. (2024). Biodegradation of polystyrene by larvae. *Polymers*, 16(10), 1404. <https://doi.org/10.3390/polym16101404>

- Fix, G. M., Kim, B., Ruben, M., & McCullough, M. B. (2022). Direct observation methods. *PEC Innovation*, 1, 100036. <https://doi.org/10.1016/j.pecinn.2022.100036>
- Folke, C., Polasky, S., Rockström, J., et al. (2021). Our future in the Anthropocene biosphere. *Ambio*, 50, 834–869. <https://doi.org/10.1007/s13280-021-01544-8>
- Folkman, J. (1995). Angiogenesis in cancer. *Nature Medicine*, 1(1), 27–30. <https://doi.org/10.1038/nm0195-27>
- Fossi, M. C., Coppola, D., Bainsi, M., et al. (2014). Marine organisms as indicators of microplastic pollution. *Marine Environmental Research*, 100, 17–24. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2014.02.002>
- Galloway, T. S., Cole, M., & Lewis, C. (2017). Interactions of microplastic debris within marine ecosystems. *Nature Ecology & Evolution*, 1(5), 116. <https://doi.org/10.1038/s41559-017-0116>
- Gautam, A. M., & Caetano, N. (2017). Sustainable alternatives to plastic. *Energy Procedia*, 136, 507–512. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.10.273>
- Giorgetti, L., Spanò, C., Muccifora, S., et al. (2020). Exploring the interaction between polystyrene nanoplastics and *Allium cepa*. *Plant Physiology and Biochemistry*, 149, 170–177. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.02.014>
- Govind, A., & Nishitha, K. (2023). Plastic and its side effects on humans: A review article. *Asian Pacific Journal of Environment and Cancer*, 6(1), 81–85. <https://doi.org/10.31557/apjec.2023.6.1.81-85>
- Hoyos Ruiz, L. J. (2024). *Aplicación de Tenebrio molitor (Coleoptera: Tenebrionidae) como herramienta biodegradadora de polímeros en condiciones de laboratorio* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Jaén]. <http://repositorio.unj.edu.pe/handle/UNJ/727>

- Hong, J., Han, T., & Kim, Y. Y. (2020). Mealworm (*Tenebrio molitor*) as an alternative protein source. *Animals*, 10(11), 2068. <https://doi.org/10.3390/ani10112068>
- Hu, B., Wang, S., Yan, J., Zhang, H., Qiu, L., Liu, W., & others. (2024). Review of waste plastics treatment and utilization: Efficient conversion and high value utilization. *Process Safety and Environmental Protection*, 183, 378–398. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2024.01.024>
- IndexBox. (2024a). *World polystyrene resins market: Analysis, forecast, size, trends and insights*.
- IndexBox. (2024b). *World plastic containers market: Analysis, forecast, size, trends and insights*.
- IndexBox. (2024c). *World thermoplastic polymers market: Analysis, forecast, size, trends and insights*.
- Ivar do Sul, J. A., Costa, M. F., & Fillmann, G. (2014). Microplastics in the pelagic environment around oceanic islands. *Water, Air, & Soil Pollution*, 225(7), 2004. <https://doi.org/10.1007/s11270-014-2004-z>
- Jambeck, J. R., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, T. R., Perryman, M., Andrady, A., Narayan, R., & Law, K. L. (2015). Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science*, 347(6223), 768–771. <https://doi.org/10.1126/science.1260352>
- Jiang, S., Su, T., Zhao, J., & Wang, Z. (2021). Biodegradation of polystyrene by insect larvae. *Polymers*, 13(20), 3539. <https://doi.org/10.3390/polym13203539>
- Jiang, X., Chen, H., Liao, Y., Ye, Z., Li, M., & Klobučar, G. (2019). Ecotoxicity and genotoxicity of polystyrene microplastics on higher plant *Vicia faba*. *Environmental Pollution*, 250, 831–838. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.04.055>

- Kalčíková, G., Žgajnar Gotvajn, A., Kladnik, A., & Jemec, A. (2017). Impact of polyethylene microbeads. *Environmental Pollution*, 230, 1108–1115. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.07.050>
- Khan, S., Dong, Y., Nadir, S., et al. (2021). Valorizing plastic waste by insect consumption. *Circular Agricultural Systems*, 1(1), 1–9. <https://doi.org/10.48130/cas-2021-0007>
- Khruengsai, S., Sripahco, T., & Pripdeevech, P. (2023). Microbial degradation of low-density polyethylene by *Neopestalotiopsis phangngaensis*. *Journal of General and Applied Microbiology*, 68(6), 287–294. <https://doi.org/10.2323/jgam.2022.07.001>
- Kuan, Z.-J., Chan, B. K.-N., & Gan, S. K.-E. (2022). Worming the circular economy for biowaste and plastics: *Hermetia illucens*, *Tenebrio molitor*, and *Zophobas morio*. *Sustainability*, 14(3), 1594. <https://doi.org/10.3390/su14031594>
- Kumar, M., Sun, Y., Rathour, R., et al. (2020). Algae as potential feedstock. *Science of the Total Environment*, 716, 137116. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137116>
- Lei, L., Wu, S., Lu, S., Liu, M., Song, Y., & Jin, T. (2018). Microplastic particles cause intestinal damage. *Science of the Total Environment*, 619–620, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.11.103>
- LeMoine, C. M., Grove, H. C., Smith, C. M., & Cassone, B. J. (2020). A very hungry caterpillar: Polyethylene metabolism and lipid homeostasis in larvae of the greater wax moth (*Galleria mellonella*). *Environmental Science & Technology*, 54(22), 14706–14715. <https://doi.org/10.1021/acs.est.0c04386>
- Leyva López, N. E. (2024). *Biodegradación del tereftalato de polietileno y de poliestireno mediante el líquido ruminal vacuno y el gusano de la harina (Tenebrio molitor)* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Cajamarca. <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/7455>

- Li, M. X., Yang, S. S., Ding, J., Ding, M. Q., He, L., Xing, D. F., Criddle, C. S., Benbow, M. E., Ren, N. Q., & Wu, W. M. (2024). *Blaptica dubia* biodegrades polystyrene plastics: Insights for superior ability, microbiome and host genes. *Journal of Hazardous Materials*, 479, 135756. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2024.135756>
- Li, Z., Li, Q., Li, R., Zhou, J., & Wang, G. (2021). The distribution and impact of polystyrene nanoplastics on cucumber plants. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(13), 16042–16053. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-11702-2>
- Liu, J., Liu, J., Xu, B., et al. (2022). Biodegradation of polyurethane foam. *Chemosphere*, 304, 135263. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.135263>
- Liu, Y. N., Bairoliya, S., Zaiden, N., & Cao, B. (2024). Establishment of plastic-associated microbial community from superworm gut microbiome. *Environment International*, 183, 108349. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2023.108349>
- López-Gámez, G., del Pino-García, R., López-Bascón, M. A., & Verardo, V. (2024). Mejora del crecimiento y el valor nutricional de *Tenebrio molitor* mediante la suplementación con residuos vegetales. *Foods*, 13(4), 594. <https://doi.org/10.3390/foods13040594>
- Luo, H., Tyrrell, H., Bai, J., Muazu, R. I., & Long, X. (2024). Fundamental, technical and environmental overviews of plastic chemical recycling. *Green Chemistry*, 26(23), 11444–11467. <https://doi.org/10.1039/D4GC03127J>
- Luo, L., Wang, Y., Guo, H., Yang, Y., Qi, N., Zhao, X., Gao, S., & Zhou, A. (2021). Biodegradation of foam plastics by *Zophobas atratus* larvae (Coleoptera: Tenebrionidae) associated with changes of gut digestive enzyme activities and microbiome. *Chemosphere*, 282, 131006. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.131006>

- Machona, O., Chidzwondo, F., & Mangoyi, R. (2022). *Tenebrio molitor*: Possible source of bacteria. *BMC Biotechnology*, 22(2), 2. <https://doi.org/10.1186/s12896-021-00733-3>
- Medina, M., Rojas, R., Bustamante, W., Loaiza, R., Martel, C., & Castillo, R. (2023). *Metodología de la investigación: Técnicas e instrumentos de investigación*. Instituto Universitario de Innovación Ciencia y Tecnología INUDI Perú. <https://doi.org/10.35622/inudi.b.080>
- Naidu, S. A., Ranga Rao, V., & Ramu, K. (2018). Microplastics in the benthic invertebrates from the coastal waters of Kochi, Southeastern Arabian Sea. *Environmental Geochemistry and Health*, 40(4), 1377–1383. <https://doi.org/10.1007/s10653-017-0062-z>
- Nizzetto, L., Langaas, S., & Futter, M. (2016). Do microplastics spill onto farm soils? *Nature*, 537(7621), 488. <https://doi.org/10.1038/537488b>
- Oceana Perú. (s. f.). *Contaminación por plásticos*. <https://peru.oceana.org/campanas/contaminacion-por-plasticos>
- Okolie, O., Kumar, A., Edwards, C., Lawton, L. A., Oke, A., McDonald, S., Thakur, V. K., & Njuguna, J. (2023). Bio-based sustainable polymers and materials: From processing to biodegradation. *Journal of Composites Science*, 7(6), 213. <https://doi.org/10.3390/jcs7060213>
- Olivas Gómez, J. A. (2025). *Evaluación de la eficiencia degradativa de las larvas de Zophobas morio en la biodegradación del poliestireno, Huánuco, 2024* [Tesis de pregrado, Universidad de Huánuco]. Repositorio Institucional UDH. <https://repositorio.udh.edu.pe/20.500.14257/6661>
- Peng, B. Y., Su, Y., Chen, Z., Chen, J., Zhou, X., Benbow, M. E., Criddle, C. S., Wu, W. M., & Zhang, Y. (2019). Biodegradation of polystyrene by dark (*Tenebrio obscurus*) and yellow (*Tenebrio molitor*) mealworms (Coleoptera: Tenebrionidae). *Environmental Science & Technology*, 53(9), 5256–5265. <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b06963>

- Pfohl, P., Santizo, K., Sipe, J., Wiesner, M., Harrison, S., Svendsen, C., & Wohlleben, W. (2025). Environmental degradation and fragmentation of microplastics: Dependence on polymer type, humidity, UV dose and temperature. *Microplastics and Nanoplastics*, 5(1). <https://doi.org/10.1186/s43591-025-00118-9>
- Plastics Europe. (2022). *Plastics – the facts 2020*. <https://plasticseurope.org/knowledge-hub/plastics-the-facts-2020/>
- Przemieniecki, S. W., Kosewska, A., Ciesielski, S., & Kosewska, O. (2020). Changes in gut microbiome. *Environmental Pollution*, 256, 113265. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113265>
- Raviolo, A., Carabelli, P., & Ekkert, T. (2022). Aprendizaje del concepto de densidad: la comprensión de las relaciones entre las variables. *Latin American Journal of Physics Education*, 16(2), 2310–2310-9. <http://www.lajpe.org>
- Rodrigues, M. O., Abrantes, N., Gonçalves, F. J. M., Nogueira, H., Marques, J. C., & Gonçalves, A. M. M. (2019). Impacts of plastic products used in daily life on the environment and human health: What is known? *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 72, 103239. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2019.103239>
- Rodríguez-Carreón, A., Ortiz-Rivera, Y., Hernández-Peña, C. C., & Figueroa, C. (2021). Biodegradación de espumas plásticas por larvas de insectos: ¿Una estrategia sustentable? *TIP. Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 24, e311. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2021.311>
- Ribeiro, N., Abelho, M., & Costa, R. (2018). Mass rearing of *Tenebrio molitor*. *Journal of Entomological Science*, 53(4), 434–454. <https://doi.org/10.18474/JES17-67.1>
- Sangiorgio, P., Verardi, A., Di Matteo, S., Spagnoletta, A., Moliterni, S., & Errico, S. (2021). *Tenebrio molitor* in the circular economy: A novel approach for plastic valorisation and PHA biological recovery. *Environmental Science and*

Pollution Research, 28(38), 52689–52701. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-15944-6>

Shareefdeen, Z., & ElGazar, A. T. (2024). Management of plastic wastes through recent advanced pyrolysis processes. *Applied Sciences*, 14(14), 6156. <https://doi.org/10.3390/app14146156>

Siddiqui, S. A., Abd Manap, A. S., Kolobe, S. D., & others. (2024). Insects for plastic biodegradation. *Process Safety and Environmental Protection*, 186, 833–849. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2024.04.021>

Sun, J., Prabhu, A., Aroney, S. T. N., & Rinke, C. (2022). Insights into plastic biodegradation: community composition and functional capabilities of the superworm (*Zophobas morio*) microbiome in styrofoam feeding trials. *Microbial Genomics*, 8(6), mgen000842. <https://doi.org/10.1099/mgen.0.000842>

Thomas, P. J., Perono, G., Tommasi, F., Pagano, G., Oral, R., Burić, P., Kovačić, I., Toscanesi, M., Trifuoggi, M., & Lyons, D. M. (2021). Resolving the effects of environmental micro- and nanoplastics exposure in biota: A knowledge gap analysis. *Science of the Total Environment*, 780, 146534. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146534>

Thompson, R. C., Moore, C. J., vom Saal, F. S., & Swan, S. H. (2009). Plastics and human health. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 364(1526), 2153–2166. <https://doi.org/10.1098/rstb.2009.0053>

Tsochatzis, E. D., Berggreen, I. E., Nørgaard, J. V., Theodoridis, G., & Dalsgaard, T. K. (2021). Biodegradation of expanded polystyrene by mealworm larvae under different feeding strategies evaluated by metabolic profiling using GC-TOF-MS. *Chemosphere*, 281, 130840. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.130840>

Úbeda, J. M., & Maes, J. M. (2021). *Manual del manejo y crianza de Zophobas sp.* Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua (UNAN-

Managua). <https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/87615928/233-Manual-Zophbas-libre.pdf>

Urbanek, A. K., Rybak, J., Hanus-Lorenz, B., Komisarczyk, D. A., & Mirończuk, A. M. (2024). *Zophobas morio* versus *Tenebrio molitor*: Diversity in gut microbiota of larvae fed with polymers. *Science of the Total Environment*, 952, 176005. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.176005>

Urbanek, A. K., Rybak, J., Hanus-Lorenz, B., Wróblewska, A., & Kamiński, M. (2024). Gut microbiota diversity. *Science of the Total Environment*, 952, 176005. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.176005>

Verma, R., Vinoda, K. S., Papireddy, M., & Gowda, A. N. S. (2016). Toxic pollutants from plastic waste—A review. *Procedia Environmental Sciences*, 35, 701–708. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2016.07.069>

Vishnu Murthy, J. S., Keerthana, A., Logeswaran, K., & others. (2024). Insect-mediated plastic biodegradation. *Journal of Environmental Management*, 372, 123038. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.123038>

Vital-Vilchis, I., & Karunakaran, E. (2025). Using insect larvae and their microbiota for plastic degradation. *Insects*, 16(2), 165. <https://doi.org/10.3390/insects16020165>

Vizcaíno Zúñiga, P. I., Cedeño Cedeño, R. J., & Maldonado Palacios, I. A. (2023). Metodología de la investigación científica: guía práctica. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(4), 9723–9762. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i4.7658

Voća, N., Gašparić, K., Karažija, T., Peter, A., Brandić, I., Harcet, M., & Šurić, J. (2026). *Blatticomposting as a novel approach for slaughterhouse waste bioconversion with cockroaches* [Preprint]. Preprints.org. <https://doi.org/10.20944/preprints202602.0011>

- Vommaro, M. L., Donato, S., Caputo, S., Agostino, R. G., Montali, A., Tettamanti, G., & Giglio, A. (2024). Anatomical changes of *Tenebrio molitor* and *Tribolium castaneum* during complete metamorphosis. *Cell and Tissue Research*, 396(1), 19–40. <https://doi.org/10.1007/s00441-024-03877-8>
- Woo, S., Song, I., & Cha, H. J. (2020). Fast and facile biodegradation of polystyrene by the gut microbial flora of *Plesiophthalmus davidis* larvae. *Applied and Environmental Microbiology*, 86(18), e01361-20. <https://doi.org/10.1128/AEM.01361-20>
- Wu, H., Hu, X. P., & Appel, A. G. (2017). Temperature-dependent development. *Journal of Economic Entomology*, 110(2), 546–551. <https://doi.org/10.1093/jee/tow278>
- Wu, P., Huang, J., Zheng, Y., & others. (2019). Environmental impacts of microplastics. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 184, 109612. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.109612>
- Wu, W. M., & Criddle, C. S. (2021). Characterization of biodegradation of plastics in insect larvae. *Methods in Enzymology*, 648, 95–120. <https://doi.org/10.1016/bs.mie.2020.12.029>
- Xu, Z., Wu, X., Zhang, J., Cheng, P., Sun, W., Zhong, Y., Wang, Y., Yu, G., & Liu, H. (2023). Microplastics existence intensified bloom of antibiotic resistance in livestock feces transformed by black soldier fly. *Environmental Pollution*, 317, 120845. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.120845>
- Yang, C., & Gao, X. (2022). Impact of microplastics from polyethylene and biodegradable mulch films on rice (*Oryza sativa* L.). *Science of the Total Environment*, 828, 154579. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154579>
- Yang, L., Gao, J., Liu, Y., Zhuang, G., Peng, X., Wu, W. M., & Zhuang, X. (2021). Biodegradation of expanded polystyrene and low-density polyethylene foams in larvae of *Tenebrio molitor* Linnaeus (Coleoptera: Tenebrionidae): Broad versus limited depolymerization and microbe-dependence versus

independence. *Chemosphere*, 262, 127818.
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127818>

Yang, S. S., Brandon, A. M., Flanagan, J. C. A., Yang, J., Ning, D., Cai, S. Y., Fan, H. Q., Wang, Z. Y., Ren, J., Benbow, M. E., Ren, N. Q., Waymouth, R. M., Zhou, J., Criddle, C. S., & Wu, W. M. (2018). Biodegradation of polystyrene wastes in yellow mealworms (*Tenebrio molitor* Linnaeus): Factors affecting biodegradation rates and the ability of polystyrene-fed larvae to complete their life cycle. *Chemosphere*, 191, 979–989.
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.10.117>

Yang, S., Wu, W., Bertocchini, F., Benbow, M. E., Devipriya, S. P., Cha, H. J., Peng, B., Ding, M., He, L., Li, M., Cui, C., Shi, S., Sun, H., Pang, J., He, D., Zhang, Y., Yang, J., Hou, D., Xing, D., & others. (2024). Radical innovation breakthroughs of biodegradation of plastics by insects: History, present and future perspectives. *Frontiers of Environmental Science & Engineering*, 18(6). <https://doi.org/10.1007/s11783-024-1838-x>

Yang, Y., Jalalah, M., Alsareii, S. A., Harraz, F. A., Thakur, N., Zheng, Y., & others. (2024). Plastic wastes (PWs) and microplastics (MPs) formation: Management, migration, and environmental impact. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 12(3), 112926.
<https://doi.org/10.1016/j.jece.2024.112926>

Yang, Y., Wang, J., & Xia, M. (2020). Biodegradation of polystyrene. *Science of the Total Environment*, 708, 135233.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135233>

Yang, Y., Yang, J., Wu, W. M., Zhao, J., Song, Y., Gao, L., Yang, R., & Jiang, L. (2015a). Biodegradation and mineralization of polystyrene by plastic-eating mealworms: Part 1. Chemical and physical characterization and isotopic tests. *Environmental Science & Technology*, 49(20), 12080–12086.
<https://doi.org/10.1021/acs.est.5b02661>

- Yang, Y., Yang, J., Wu, W. M., Zhao, J., Song, Y., Gao, L., Yang, R., & Jiang, L. (2015b). Biodegradation and mineralization of polystyrene by plastic-eating mealworms: Part 2. Role of gut microorganisms. *Environmental Science & Technology*, 49(20), 12087–12093. <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b02663>
- Yang, X. G., Wen, P. P., Yang, Y. F., Jia, P. P., Li, W. G., & Pei, D. S. (2023). Plastic biodegradation by in vitro environmental microorganisms and in vivo gut microorganisms of insects. *Frontiers in Microbiology*, 13, 1001750. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.1001750>
- Zhang, M., Zhao, Y., Qin, X., & others. (2019). Microplastics in farmland soil. *Science of the Total Environment*, 688, 470–478. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.06.108>
- Zhang, K., Hamidian, A. H., Tubić, A., et al. (2021). Plastic degradation and microplastic formation. *Environmental Pollution*, 274, 116554. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.116554>

ANEXOS

MATRIZ DE CONSISTENCIA

Título del proyecto: “Biodegradación de termoplásticos mediante el uso de Insectos detritívoros en condiciones de entorno controlado”

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN	VARIABLE	INDICADORES	METODOLOGÍA
¿Cuál es la capacidad de biodegradación de termoplásticos por insectos detritívoros en condiciones de entorno controlado?	<u>OBJETIVO GENERAL.</u> Evaluar la capacidad de biodegradación de termoplásticos mediante el uso de la cucaracha <i>Blaptica dubia</i> y las larvas de <i>Tenebrio molitor</i> y <i>Zophobas morio</i>, bajo condiciones controladas de laboratorio. <u>OBJETIVOS ESPECÍFICOS.</u> Determinar la capacidad de biodegradación del polipropileno (PP), poliestireno expandido (EPS) y polietileno de baja densidad (LDPE) por las especies <i>Blaptica dubia</i>, <i>Tenebrio molitor</i> y <i>Zophobas morio</i>. Evaluar la influencia de la densidad de los insectos en la biodegradación de polipropileno (PP), poliestireno expandido (EPS) y polietileno de baja densidad (LDPE).	La capacidad de biodegradación de termoplásticos bajo condiciones controladas de laboratorio varía entre <i>Blaptica dubia</i> , <i>Tenebrio molitor</i> y <i>Zophobas morio</i> , siendo observable la disminución progresiva de la masa de los plásticos y diferencias en la cinética de biodegradación entre las especies.	<u>VARIABLE INDEPENDIENTE.</u> <i>Insectos detritívoros: Blaptica dubia</i>, <i>Tenebrio molitor</i> y <i>Zophobas morio</i>. <u>VARIABLE DEPENDIENTE.</u> Termoplásticos: Polipropileno (PP), poliestireno expandido (EPS) y polietileno de baja densidad (LDPE)	<i>Blaptica dubia</i> con densidad controlada que tienen la capacidad de degradar Termoplásticos en tiempos controlados. <i>Tenebrio molitor</i> con densidad controlada que tienen la capacidad de degradar Termoplásticos en tiempos controlados. <i>Zophobas morio</i> con densidad controlada que tienen la capacidad de degradar Termoplásticos en tiempos controlados. Degradación de polipropileno (PP) teniendo en consideración en tiempo y masa: Tiempo: T1=7 días, T2=14 días, T3=21 días, T4=28 días, T5=35 días, T6=42 días, T7=49 días, T8=56 días. Masa: 3 gramos Area: 9 cm² Degradación de polipropileno (PP) teniendo en consideración en tiempo y masa: Tiempo: T1=7 días, T2=14 días, T3=21 días, T4=28 días, T5=35 días, T6=42 días, T7=49 días, T8=56 días. Masa: 3 gramos Area: 24 cm² Degradación de polipropileno (PP) teniendo en consideración en tiempo y masa: Tiempo: T1=7 días, T2=14 días, T3=21 días, T4=28 días, T5=35 días, T6=42 días, T7=49 días, T8=56 días. Masa: 1.5 gramos Area: 24 cm²	POBLACION: La población del presente estudio está constituida por 5400 insectos detritívoros de las especies <i>Blaptica dubia</i>, <i>Tenebrio molitor</i> y <i>Zophobas morio</i>. MUESTRA: El tamaño muestral de carácter no probabilístico, de tipo intencional, conformado por insectos detritívoros como se detalla: <i>Blaptica dubia</i> (1800), <i>Tenebrio molitor</i> (1800) y <i>Zophoba morio</i> (1800) TIPO DE INVESTIGACION: Experimental NIVEL DE INVESTIGACION: Explicativo MÉTODO DE INVESTIGACIÓN: métodos inductivo y deductivo DISEÑO ESPECÍFICO: $Y_{ijkl} = \mu + T_i + D_j + t_k + (TD)_{ij} + (Tt)_{ik} + (Dt)_{jk} + (TDt)_{ijk} + \epsilon_{ijkl}$ Donde: Y_{ijkl} = es la degradación del plástico observada μ = es la media general <i>T_i</i> = es el efecto del i-ésimo tratamiento <i>D_j</i> = es el efecto de la j-ésima densidad <i>t_k</i> = es el efecto del k-ésimo tiempo <i>(TD)_{ij}</i>, <i>(Tt)_{ik}</i>, <i>(Dt)_{jk}</i> = representan las interacciones dobles <i>(TDt)_{ijk}</i> = es la interacción triple ϵ_{ijkl} = es el error experimental TÉCNICA: Observación INSTRUMENTO: Fichas de registro



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA
(CREADA POR LEY N°25265)

FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y
SANITARIA



INFORME DE REVISIÓN DE PROYECTO DE TESIS

ASESOR:

- Dr. Jorge Luis Huere Peña

ESTUDIANTES:

- Gerymi Simeon Quispe Gonzales
- Yoshi Lizabeth Inga Huarocc

TÍTULO DE PROYECTO DE TESIS:

“Capacidad de biodegradación de termoplásticos mediante el uso de insectos detritívoros en condiciones de entorno controlado”

OBSERVACIONES:

Que habiendo presentado y revisado el proyecto tesis informo que no hay ninguna observación.

Huancavelica, 22 de julio del 2026



Firmado digitalmente por HUERE
PEÑA Jorge Luis FAU 20168014962
soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 22.07.2026 21:18:34 -05:00

Dr. Jorge Luis HUERE PEÑA
ASESOR



UNIVERSIDAD NACIONAL DE
HUANCVELICA

ESCUELA PROFESIONAL DE
INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA



Firmado digitalmente por DUEÑAS
JURADO Carlos FAU 20168014962
soft
Cargo: Director(A) De Escuela
Profesional
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 07.07.2026 15:24:08 -05:00

"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres"
"Año de la Esperanza y el Fortalecimiento de la Democracia"

Huancavelica, 07 de Julio del 2026

MEMORANDO N° 000031-2026-UNH/EPIAS

A: **JORGE LUIS HUERE PEÑA**
DOCENTE NOMBRADO
DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA

ASUNTO: **DESIGNACIÓN DE ASESOR PARA PROYECTO DE TESIS.**

Referencia: INFORME 000026-2026-UNH/UFGT-EPIAS (2JUL2026)

Fecha elaboración: Huancavelica, 07 de Julio de 2026

Por medio del presente me dirijo a Usted, de mi especial consideración y estima personal, asimismo en atención al documento de la referencia se designa como asesor del Proyecto de Tesis **"BIODEGRADACIÓN DE TERMOPLÁSTICOS MEDIANTE EL USO DE INSECTOS DETRITÍVOROS EN CONDICIONES DE ENTORNO CONTROLADO"** presentado por: **GERYMI SIMEON QUISPE GONZALES Y YOSHI LISZETH INGA HUAROCC**. Para su respectivo asesoramiento de acuerdo al del Reglamento de Grados y Títulos de la UNH.

-SEGUN EL ART. 17.4 DEL REGLAMENTO DE GRADOS Y TÍTULOS, EL DIRECTOR DERIVA AL ASESOR PARA REVISIÓN DEBIENDO EMITIR UN INFORME AL DIRECTOR EN UN PLAZO MÁXIMO DE 10 DÍAS, CON EL RESULTADO DE LA EVALUACIÓN UTILIZANDO EL ANEXO 02 Y ADJUNTAR EL PROYECTO DE TESIS EN MEDIO DIGITAL.

-ADJUNTO ANEXO 02

Atentamente,

Documento Firmado Digitalmente

CARLOS DUEÑAS JURADO
DIRECTOR(A) DE ESCUELA PROFESIONAL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA

CDJ/hcq
cc.:

N° Expediente: 2026-0014611



"Esta es una copia auténtica imprimible de un documento electrónico archivado por la Universidad Nacional de Huancavelica, aplicando lo dispuesto por el Art. 25 de D.S. 070-2013-PCM y la Tercera Disposición Complementaria Final del D.S. 026-2016-PCM".
Su autenticidad e integridad pueden ser contrastadas a través.
Dirección web: <https://sgd.unh.edu.pe:8181/verifica/inicio.do>
Código de Verificación: **MA7CGPM**





UNIVERSIDAD NACIONAL DE
HUANCVELICA

UNI. FUN. GESTIÓN DE GRADOS Y
TÍTULOS - EPI AMBIENTAL



Firmado digitalmente por ENRIQUEZ
NATEROS Nilo Abelardo FAU
20168014962 soft
Cargo: Coordinador De Gestion De
Grados Y Titulos
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 08.06.2026 18:01:56 -05:00

"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres"
"Año de la Esperanza y el Fortalecimiento de la Democracia"

Huancavelica, 08 de Junio del 2026

INFORME N° 000024-2026-UNH/UFGGT-EPIAS

A: **CARLOS DUEÑAS JURADO**
DIRECTOR(A) DE ESCUELA PROFESIONAL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA

ASUNTO: **PROPUESTA DE DESIGNACIÓN DE ASESOR PARA PROYECTO DE TESIS.**

Referencia: PROVEIDO 000468-2026-UNH/EPIAS (5JUN2026)

Fecha elaboración: Huancavelica, 08 de Junio de 2026

Tengo el agrado de dirigirme a usted para saludarle cordialmente, y a la vez remitir la propuesta de asesor de acuerdo al documento en referencia, proponiendo a los docentes **Dr. JORGE LUIS HUERE PEÑA** y **Mg. CARLOS DUEÑAS JURADO** del proyecto de tesis titulado: **"BIODEGRADACIÓN DE TERMOPLÁSTICOS MEDIANTE EL USO DE INSECTOS DETRITÍVOROS EN CONDICIONES DE ENTORNO CONTROLADO"** presentado por las estudiantes: **Gerymi Simeon QUISPE GONZALES** y **Yoshi Lizabeth INGA HUAROCC**, de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Sanitaria, a fin de que su despacho remita a quien corresponda para su aprobación mediante acto resolutivo.

Sin otro particular es propicia la ocasión para hacerle llegar las muestras de mi especial consideración.

Atentamente,

Documento Firmado Digitalmente

NILO ABELARDO ENRIQUEZ NATEROS
COORDINADOR DE GESTION DE GRADOS Y TITULOS
UNI. FUN. GESTIÓN DE GRADOS Y TÍTULOS - EPI AMBIENTAL

NEN
cc.:

N° Expediente: 2026-0014611



"Esta es una copia auténtica imprimible de un documento electrónico archivado por la Universidad Nacional de Huancavelica, aplicando lo dispuesto por el Art. 25 de D.S. 070-2013-PCM y la Tercera Disposición Complementaria Final del D.S. 026-2016-PCM".
Su autenticidad e integridad pueden ser contrastadas a través.
Dirección web: <https://sgd.unh.edu.pe:8181/verifica/inicio.do>
Código de Verificación: FHHCIMP





"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres"
"Año de la Esperanza y el Fortalecimiento de la Democracia"

Huancavelica, 02 de Julio del 2026

INFORME N° 000026-2026-UNH/UFGT-EPIAS

A: **CARLOS DUEÑAS JURADO**
DIRECTOR(A) DE ESCUELA PROFESIONAL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA

ASUNTO: **PROPUESTA DE DESIGNACIÓN DE ASESOR PARA PROYECTO DE TESIS.**

Referencia: PROVEIDO 000549-2026-UNH/EPIAS (30JUN2026)

Fecha elaboración: Huancavelica, 02 de Julio de 2026

Tengo el agrado de dirigirme a usted para saludarle cordialmente, y a la vez remitir la propuesta de asesor de acuerdo al documento en referencia, proponiendo a los docentes **Dr. JORGE LUIS HUERE PEÑA y Mg. ALFREDO GROVER ROJAS CARRIZALES** del proyecto de tesis titulado: **"BIODEGRADACIÓN DE TERMOPLÁSTICOS MEDIANTE EL USO DE INSECTOS DETRITÍVOROS EN CONDICIONES DE ENTORNO CONTROLADO"** presentado por los estudiantes: **Gerymi Simeon QUISPE GONZALES y Yoshi Liszeth INGA HUAROCC** de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Sanitaria a fin de que su despacho remita a quien corresponda para su aprobación mediante acto resolutivo.

Por otro lado, según el numeral 17.2 del artículo 17° del reglamento de grados y títulos menciona:

...]

De manera opcional, los tesisistas pueden solicitar la designación de un co-asesor. En caso de convenios o financiamientos con instituciones, un representante de la institución asume las funciones de co-asesor. Asimismo, los tesisistas, pueden proponer como co-asesor a laboratoristas, jefes de prácticas, personal administrativo u otros profesionales con competencias en el tema de investigación, previa carta de aceptación del profesional. En el caso de profesionales extranjeros, su incorporación como co-asesor requiere igualmente la carta de aceptación, pudiendo considerarse especialistas de instituciones públicas, privadas o independientes con competencias en el tema de investigación. La propuesta de co-asesor es evaluada por el Coordinador de la Unidad Funcional de la Unidad de Grados y Títulos.

...]

Según el artículo el profesional propuesto por las tesisistas como co-asesor, no tiene competencias en la materia a investigar por ser de otra profesión.

Sin otro particular es propicia la ocasión para hacerle llegar las muestras de mi especial consideración.

Atentamente,

N° Expediente: 2026-0014611



"Esta es una copia auténtica imprimible de un documento electrónico archivado por la Universidad Nacional de Huancavelica, aplicando lo dispuesto por el Art. 25 de D.S. 070-2013-PCM y la Tercera Disposición Complementaria Final del D.S. 026-2016-PCM".
Su autenticidad e integridad pueden ser contrastadas a través:
Dirección web: <https://sgd.unh.edu.pe:8181/verifica/inicio.do>
Código de Verificación: KSGKM5M





UNIVERSIDAD NACIONAL DE
HUANCAVELICA

UNI. FUN. GESTIÓN DE GRADOS Y
TÍTULOS - EPI AMBIENTAL

"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres"
"Año de la Esperanza y el Fortalecimiento de la Democracia"

Documento Firmado Digitalmente

NILO ABELARDO ENRIQUEZ NATEROS
COORDINADOR DE GESTION DE GRADOS Y TITULOS
UNI. FUN. GESTIÓN DE GRADOS Y TÍTULOS - EPI AMBIENTAL

NEN
CC..



N° Expediente: 2026-0014611



"Esta es una copia auténtica imprimible de un documento electrónico archivado por la Universidad Nacional de Huancavelica, aplicando lo dispuesto por el Art. 25 de D.S. 070-2013-PCM y la Tercera Disposición Complementaria Final del D.S. 026-2016-PCM".
Su autenticidad e integridad pueden ser contrastadas a través.
Dirección web: <https://sgd.unh.edu.pe:8181/verifica/inicio.do>
Código de Verificación: KSGKM5M

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA

PROVEIDO 000468-2026-UNH/EPIAS

EXPEDIENTE : **2026-0014611**

FECHA

05/06/2026

ASUNTO: SEGUN EL ART. 17.3 DEL REGLAMENTO DE GRADOS Y TÍTULOS, EL DIRECTOR DERIVA A LA UNIDAD FUNCIONAL DE GRADOS Y TÍTULOS, A FÍN DE QUE EN UN PLAZO MÁXIMO DE 3 DÍAS PROPOGA DOS DOCENTES Y EL DIRECTOR DESIGNA A UNO COMO ASESOR.

Atender en 0 días

REFERENCIA : SOLICITUD Nº - SOLICITO ASESOR DE TESIS

DEPENDENCIA DESTINO	TRAMITE	PRIORIDAD	INDICACIONES
UNI. FUN. GESTION DE GRADOS Y TITULOS - EPI AMBIENTAL ENRIQUEZ NATEROS NILO ABELARDO	ATENDER	NORMAL	

DUEÑAS JURADO CARLOS
DIRECTOR(A) DE ESCUELA PROFESIONAL

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA

PROVEIDO 000549-2026-UNH/EPIAS

EXPEDIENTE : **2026-0014611**

FECHA

30/06/2026

ASUNTO: CORREGIR INFORME DE PROPUESTA DE DESIGNACIÓN DE ASESOR PARA
PROYECTO DE TESIS

Atender en 0 días

REFERENCIA : INFORME Nº 000024-2026-UFGGT- PROPUESTA DE DESIGNACIÓN DE ASESOR PARA PROYECTO DE TESIS
EPIAS

DEPENDENCIA DESTINO	TRAMITE	PRIORIDAD	INDICACIONES
UNI. FUN. GESTIÓN DE GRADOS Y TÍTULOS - EPI AMBIENTAL ENRIQUEZ NATEROS NILO ABELARDO	ATENDER	NORMAL	

DUEÑAS JURADO CARLOS
DIRECTOR(A) DE ESCUELA PROFESIONAL

SOLICITUD

Señor(a) Director(a) de la Escuela Profesional
de Ingeniería Ambiental y Sanitaria de la
Universidad Nacional de Huancavelica

Nosotros, Gerymi Simeon Quispe Gonzales, identificado con DNI N.º 72240174 y Yoshi Lyszeth Inga Huarocc, identificado con DNI N.º 73416844 estudiantes de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Sanitaria, solicito la designación de asesor para el desarrollo de mi proyecto de tesis titulado:

“Biodegradación de termoplásticos mediante el uso de insectos detritívoros en condiciones de entrono controlado”.

Proponemos la designación del Dr. Jorge Luis Huere Peña como asesor y del Mg. Víctor Carhuapoma Delacruz como coasesor de la presente investigación, en consideración a que ambos docentes han venido brindando orientación académica permanente y acompañamiento durante las etapas iniciales de formulación y estructuración del proyecto.

Su participación ha sido fundamental en el fortalecimiento del planteamiento del problema, la definición de los objetivos de investigación y la consolidación de la metodología propuesta, contribuyendo de manera significativa a la consistencia y viabilidad del estudio.

Asimismo, la experiencia profesional, trayectoria académica y conocimiento especializado que poseen en el área temática constituyen un valioso aporte para el adecuado desarrollo, seguimiento y culminación de la tesis.

Por lo expuesto, solicitamos a su despacho se sirva aprobar la designación del Dr. Jorge Luis Huere Peña como asesor y del Mg. Víctor Carhuapoma Delacruz como coasesor, a fin de continuar con el desarrollo de la investigación en concordancia con las disposiciones y normativas vigentes de la Universidad Nacional de Huancavelica.

En cumplimiento de las disposiciones reglamentarias, declaro que todas las comunicaciones, resoluciones y notificaciones relacionadas con el proceso de obtención del título profesional mediante sustentación de tesis serán remitidas al siguiente correo institucional:

- Correo electrónico institucional para notificaciones oficiales (obligatorio):
 - 2022161052@unh.edu.pe
 - 2022161043@unh.edu.pe
- Correo personal para respaldo:
 - yimi2.com@gmail.com
 - samyoshi34@gmail.com

Asimismo, me comprometo a revisar permanentemente el correo institucional y a dar respuesta o cumplimiento a las observaciones y disposiciones que se me notifiquen, reconociendo la plena validez legal de las notificaciones digitales emitidas con firmas digitales institucionales.

Huancavelica, 01. de Junio
de 2026



Nombres y Apellidos: Gerymi Simeon
Quispe Gonzales
DNI N°: 72240174
N° de celular: 937437251



Nombres y Apellidos: Yoshi Lizabeth
Inga Huaroc
DNI N°: 73416844
N° de celular: 931148555

UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCABELICA

(Creada por Ley N° 25265)

FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA



Firmado digitalmente por HUERE
PENAJORGE Luis FAU 20168014962
soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 22.07.2026 21:18:53 -05:00

PROYECTO DE TESIS

**“Capacidad de biodegradación de termoplásticos mediante el uso de
insectos detritívoros en condiciones de entorno controlado”**

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

CIENCIAS DE LA CONSTRUCCIÓN, MINERÍA Y MEDIO AMBIENTE
SOSTENIBLE

SUB LINEA

BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

PRESENTADO POR:

Gerymi Simeon Quispe Gonzales

Yoshi Lyszeth Inga Huarocc

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AMBIENTAL Y SANITARIO

HUANCABELICA, PERÚ

2026

Título

“Capacidad de biodegradación de termoplásticos mediante el uso de insectos
detritívoros en condiciones de entorno controlado”

Autores

Gerymi Simeon, QUISPE GONZALES

ORCID: 0009-0009-0759-3455

Yoshi Lizabeth, INGA HUAROCC

ORCID: 0009-0003-3775-4615

Asesor

Dr. Jorge Luis, HUERE PEÑA

ORCID: 0000-0002-3114-8134

DNI: 04020326

Índice

Título.....	ii
Autores.....	iii
Asesor.....	iv
Índice.....	v
CAPÍTULO I EL PROBLEMA.....	8
1.1 Planteamiento del problema.....	8
1.2 Formulación del problema.....	11
1.2.1 Problema general.....	11
1.2.2 Problemas específicos.....	11
1.3 Objetivos.....	12
1.3.1 Objetivo general.....	12
1.3.2 Objetivos específicos.....	12
1.4 Justificación.....	12
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO.....	14
2.1 Antecedentes.....	14
2.1.1 Internacional.....	14
2.1.2 Nacional.....	18

2.1.3	Local.....	21
2.2	Bases teóricas	21
2.2.1	Marco teórico	21
2.2.2	Marco conceptual	23
2.3	Definición de términos	46
2.4	Hipótesis.....	48
2.4.1	Hipótesis General	48
2.4.2	Hipótesis Específicas	48
2.5	Variables	49
2.5.1	Variable independiente.....	49
2.5.2	Variable dependiente.....	49
2.6	Operacionalización de variables	50
CAPÍTULO III METODOLOGÍA		51
3.1	Ámbito espacial y temporal	51
3.1.1	Ámbito espacial.....	51
3.1.2	Ámbito temporal	53
3.2	Métodos de Investigación	53
3.2.1	Tipo de investigación	53
3.2.2	Nivel de investigación.....	54
3.2.3	Diseño de investigación	54

3.3	Población, muestra y muestreo	55
3.3.1	Población.....	55
3.3.2	Muestra.....	55
3.3.3	Muestreo.....	55
3.4	Técnicas, instrumentos y procedimientos para recolección de datos.....	56
3.4.1	Técnica	56
3.4.2	Instrumento	57
3.4.3	Procedimientos para recolección de datos	57
3.5	Técnicas de procesamiento y análisis de datos	72
3.5.1	Análisis descriptivo de los datos	72
3.5.2	Análisis inferencial de los datos.....	72
CAPÍTULO IV ASPECTO ADMINISTRATIVO		74
4.1	Recurso humano.....	74
4.2	Materiales y equipos	74
4.3	Cronograma de actividades	78
4.4	Presupuesto	80
4.5	Financiamiento.....	84
Referencias.....		85
Anexos		100
Matriz de consistencia lógica y metodológica		101

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del problema

A nivel mundial se producen más de 350 millones de toneladas de plástico al año; sin embargo, solo alrededor del 6 % es reciclado, mientras que la mayor parte se desecha sin un manejo adecuado (Liu et al., 2024). Esta situación se agrava por la alta resistencia a la degradación de muchos polímeros, cuyos tiempos de permanencia en el ambiente pueden extenderse por siglos. El polipropileno (PP) persiste entre 200 y 450 años, el poliestireno expandido (EPS) entre 500 y 1000 años y el polietileno de baja densidad (PELD) entre 150 y 500 años. En consecuencia, estos materiales se acumulan progresivamente en ecosistemas acuáticos (Jambeck et al., 2015) y terrestres (Nizzetto et al., 2016), generando impactos negativos sobre los ecosistemas (Amaral-Zettler et al., 2020) y representando un riesgo para la salud humana (Galloway et al., 2017).

Diversas investigaciones han evidenciado que los plásticos están compuestos principalmente por polímeros de carbono e hidrógeno, junto con otros elementos como nitrógeno, cloro, oxígeno y azufre (Govind, 2023). No obstante, tanto su producción como su uso contribuyen a la contaminación

ambiental y representan un riesgo para la salud pública, debido a la presencia de compuestos químicos tóxicos como el óxido de etileno, el benceno y los xilenos (Gautam & Caetano, 2017). La exposición a estas sustancias se ha asociado con el desarrollo de enfermedades graves, entre ellas cáncer, alteraciones del sistema nervioso, inmunológico y hematológico, así como afecciones renales (Folkman, 1995; Thompson et al., 2009). En este contexto, la Organización Mundial de la Salud ha enfatizado la urgencia de impulsar el desarrollo y la implementación de tecnologías ambientalmente sostenibles.

Estudios realizados en países de Asia y Norteamérica han identificado a plásticos como el polietileno (PE), polipropileno (PP) (Naidu et al., 2018), cloruro de polivinilo (PVC), tereftalato de polietileno (PET), poliuretano (PUR) y poliestireno (PS) (Fossi et al., 2014; Wu et al., 2019) como contaminantes presentes en los intestinos de invertebrados, incluidos peces, cangrejos, mejillones y lombrices, así como en algunos vertebrados como tortugas, vacunos, aves, focas y osos polares (Ivar do Sul et al., 2014; Choy et al., 2019; Clere et al., 2022). La ingestión de estos plásticos provoca diversos efectos toxicológicos, tales como inhibición del crecimiento, alteraciones metabólicas, respuestas inflamatorias, problemas reproductivos e incluso la muerte (Lei et al., 2018; Thomas et al., 2021). Desde este contexto, la presencia masiva de plásticos en los ecosistemas representa un problema emergente de gran relevancia para la salud pública y ambiental.

Por otro lado, los termoplásticos afectan directamente a las plantas agrícolas, inhibiendo su crecimiento, disminuyendo la biomasa, generando estrés oxidativo, alterando la asimilación de nutrientes y provocando anomalías citogenéticas (Kalčíková et al., 2017; Jiang et al., 2019; Giorgetti et al., 2020; Li et al., 2021; Yang y Gao, 2022), lo que se traduce en importantes pérdidas económicas para los productores (Xu et al., 2023; Zhang et al., 2019).

Existen diversos métodos físico-químicos para el tratamiento de plásticos, entre ellos la pirólisis, la termodegradación y la oxidación química. No obstante, estos procesos suelen ser costosos y pueden generar impactos

negativos, ya que producen subproductos tóxicos como dioxinas, furanos, gases volátiles y partículas finas, los cuales representan un riesgo para el medio ambiente y la salud pública, especialmente cuando no se aplican bajo controles estrictos (Verma, 2016). En este contexto, resulta indispensable promover el desarrollo y la implementación de tecnologías más seguras y ambientalmente sostenibles.

En Perú, se generan aproximadamente 950 mil toneladas de plásticos al año, siendo Lima y Callao los departamentos con mayor producción, con cerca de 886 toneladas diarias. Sin embargo, solo el 1 % de estos residuos es reciclado, mientras que el resto termina en botaderos, ríos, lagos, campos agrícolas y océanos, donde puede tardar siglos en degradarse, afectando la fauna marina, la ganadería, la agricultura, la salud pública y la economía (Oceana, 2024).

Asimismo, la ONU (2024) indica que Perú es uno de los países con mayor consumo de seis tipos de plásticos: polietileno (PE) 31,3 %, polipropileno (PP) 19,7 %, cloruro de polivinilo (PVC) 9,6 %, tereftalato de polietileno (PET) 8,4 %, poliuretano (PUR) 7,8 % y poliestireno (PS) 6,1 %. Se estima que entre el 60 % y el 90 % de los residuos plásticos terminan en los océanos, cifra que podría duplicarse para 2030 (Oceana, 2024). Ante esta situación, se recomienda el desarrollo de nuevas tecnologías capaces de degradar los plásticos sin causar impactos negativos en el medio ambiente (Ali et al., 2021; Siddiqui et al., 2024).

Desde 2015, diversas investigaciones han identificado larvas capaces de degradar plásticos mediante la producción de enzimas como esterasas y arilamidas. Entre estas especies se encuentran *Tenebrio molitor* (Yang et al., 2015; 2018; 2020), *Tenebrio obscurus* (Peng et al., 2019), *Zophobas atratus*, *Protaetia brevitarsis*, *Plodia interpunctella* (Wo et al., 2020), *Galleria mellonella* (LeMoine et al., 2020) y *Achroia grisella*. Estas enzimas están estrechamente relacionadas con la degradación de termoplásticos; sin embargo, la ruta exacta de biotransformación de los polímeros aún no se comprende completamente (Li et al., 2024; Przemieniecki et al., 2020; Rodríguez et al., 2021). Por ello, se requiere investigación adicional para validar científicamente la capacidad

biodegradadora en relación con la biomasa, tiempo, condiciones ambientales de especies como *Blaptica dubia*, *Tenebrio molitor*, y *Zophoba morio* lo que podría representar una solución prometedora frente a la acumulación global de residuos plásticos en el Perú y se pueden extrapolar para los países latinoamericanos.

Considerando la gravedad de los residuos plásticos para el ambiente, la fauna, la salud y la economía, así como el potencial de tecnologías biodegradadoras basadas en insectos, se plantea el enunciado de la investigación. El estudio busca validar científicamente métodos sostenibles e innovadores para la degradación de plásticos, proporcionando un marco integral que considere impactos ambientales, viabilidad tecnológica y aplicación práctica.

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Problema general

¿Cuál es la capacidad de biodegradación de termoplásticos mediante el uso de la cucaracha *Blaptica dubia* y las larvas de *Tenebrio molitor* y *Zophobas morio*, bajo condiciones controladas de laboratorio?

1.2.2 Problemas específicos

¿Cómo influye la especie de insecto detritívoro (*Blaptica dubia*, y las larvas de *Tenebrio molitor* y *Zophobas morio*) en la capacidad de biodegradación de termoplásticos bajo condiciones controladas de laboratorio?

¿Cómo influye la densidad de los insectos detritívoros en la capacidad de biodegradación de termoplásticos bajo condiciones controladas de laboratorio?

¿Cómo influye el tiempo de exposición en la capacidad de biodegradación de termoplásticos mediante el uso de insectos detritívoros bajo condiciones controladas de laboratorio?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

- Evaluar la capacidad de biodegradación de termoplásticos mediante el uso de la cucaracha *Blaptica dubia* y las larvas de *Tenebrio molitor* y *Zophobas morio*, en condiciones controladas de laboratorio.

1.3.2 Objetivos específicos

- Determinar la influencia de la especie de insecto detritívoro (*Blaptica dubia* y las larvas de *Tenebrio molitor* y *Zophobas morio*) en la capacidad de biodegradación de termoplásticos bajo condiciones controladas de laboratorio.
- Determinar la influencia de la densidad de los insectos detritívoros en la capacidad de biodegradación de termoplásticos bajo condiciones controladas de laboratorio.
- Determinar la influencia del tiempo de exposición en la capacidad de biodegradación de termoplásticos mediante el uso de insectos detritívoros bajo condiciones controladas de laboratorio.

1.4 Justificación

Los plásticos constituyen importantes contaminantes y representan una amenaza significativa tanto para los ecosistemas como para la salud humana, debido a su lenta degradación y su relación con diversas enfermedades. En este contexto, la presente investigación se justifica desde tres perspectivas:

A nivel teórico: El estudio busca aportar conocimiento sobre el comportamiento de la *Blaptica dubia* y las larvas *Tenebrio molitor* y *Zophobas morio* en el proceso de biodegradación de termoplásticos. Se pretende profundizar en los mecanismos de digestión simbiótica en condiciones controladas, evaluando su capacidad para promover resiliencia ecológica.

A nivel práctico y social: La investigación ofrece alternativas sostenibles, económicas y aplicables al manejo de residuos sólidos, mediante el uso de estas especies como agentes biodegradadores. Este enfoque podría convertirse en una solución biotecnológica de bajo costo para la reducción de plásticos, tanto en comunidades locales como en Instituciones Públicas que carecen de tecnologías avanzadas de reciclaje.

A nivel metodológico: El estudio propone una metodología replicable y adaptable a distintos contextos y escalas, ampliando su aplicabilidad en investigaciones futuras. Este enfoque no solo permite validar empíricamente el potencial de estas especies en la biodegradación de plásticos, sino que también establece bases sólidas para el desarrollo de tecnologías verdes aplicadas al tratamiento eficiente de residuos sólidos.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

2.1.1 Internacional

Li, et al. (2024), examinaron la biodegradación de plásticos por *B. dubia* utilizando microplásticos (MP) de PS como material de prueba. Para ello utilizaron cucarachas *Dubia* (*Blaptica dubia*) de 3 meses de edad de tamaño de 20 y 25 mm, con peso individual de $0,415 \pm 0,03$ g, e incubaron en incubadoras artificiales oscuras a temperaturas entre 25 y 27 °C y con humedad entre 60 al 70 %, siendo alimentados con una dieta normal de zanahoria: manzana: harina de maíz: salvado a 6:2:1:1, p/p. La biodegradación de PS se realizó en tres grupos (200 cucarachas). Para probar la viabilidad de la biodegradación de PS, se alimentaron en la proporción de agar: PS: agua de 0,5:0,8:24,5 (p/p) y midieron el peso de las cucarachas, el peso de las heces y residuo de plástico en cada grupo cada cinco días durando toda la prueba en 15 días. Demostraron que las cucarachas digirieron el 46,6 % del PS ingerido en 24 h, así mismo, demostraron la biodegradación por el cambio isotópico de ^{13}C del PS residual en las heces frente al PS prístino (Δ

$\delta^{13}\text{C}$ de 2,28 ‰). Se concluyó que esta especie posee una elevada capacidad para biodegradar poliestireno, evidenciando el papel fundamental del microbioma intestinal en este proceso. El estudio se relaciona con la presente investigación porque evalúa la capacidad biodegradadora de insectos detritívoros sobre materiales plásticos, aportando evidencia sobre el potencial de estos organismos como alternativa biológica para la degradación de termoplásticos.

Liu, et al. (2024), aprovecharon el poder de las comunidades microbianas derivadas de los microbiomas intestinales de los gusanos *in vitro* para un bioproceso prometedor para la degradación de plástico. Establecieron comunidades de biopelículas asociadas a plástico estables y reproducibles derivadas del microbioma intestinal de *Zophobas atratus*, a través de dos etapas: alimentación con plásticos (HDPE, PP y PS) e incubación *in vitro* de microbiomas intestinales obtenidos de los gusanos alimentados con plástico. Experimentaron con super gusanos de cinco semanas de edad con un peso de 0,7 g; su dieta consistió en avena durante 30 días, después transfirieron a recipientes de vidrio (40 super gusanos), y alimentados con 3 tipos de plásticos (HDPE, PP y PS) asociado con avena por un periodo de un mes. Demostraron cambios más prominentes de los microbiomas intestinales durante la incubación *in vitro*. Los taxones degradadoras de plásticos se enriquecieron aún más, mientras que otros taxones representados por bacterias lácticas se redujeron. Por lo tanto, concluyeron que la investigación propone como nuevas perspectivas para el bioprocesamiento de residuos plásticos mediante el uso de los gusanos. Se relaciona con la presente investigación al destacar la importancia del microbiota intestinal de los insectos en la degradación de plásticos, aportando bases para comprender los mecanismos biológicos asociados a la biodegradación de termoplásticos.

Sun, et al. (2022), evaluaron los cambios en el microbioma intestinal de las larvas *Zophobas morio* alimentados con salvado, poliestireno o en condiciones de inanición durante 3 semanas. Experimentaron con 171

supergusanos alojados en un contenedor durante 24 horas después de su llegada, los cuales lo dividieron en tres grupos (15 larvas) con una dieta de zanahoria y salvado de trigo durante 1 semana, con una temperatura entre 20 a 25 °C. Registraron dos veces por semana el peso de los super gusanos y del poliestireno, durando la prueba 3 semanas. Después, se separaron 15 larvas para la prueba de pupación y lo restante lo congelaron en nitrógeno líquido y se almacenaron a -80 °C para metagenómica. Así mismo identificaron *Pseudomonas*, *Rhodococcus* y *Corynebacterium* los cuales poseen genes asociados a la biodegradación de poliestireno. Demostraron las vías metabólicas utilizadas por el microbioma intestinal de los super gusanos para degradar el poliestireno, así mismo, confirmaron que los super gusanos pueden sobrevivir con un alimento de poliestireno, pero tiene impactos negativos considerables en la diversidad y la salud del microbioma intestinal del huésped. El estudio se relaciona con la presente investigación al evidenciar la capacidad de adaptación y supervivencia de *Zophobas morio* bajo dietas basadas en plástico, aportando referencias sobre el comportamiento de las larvas y las condiciones experimentales necesarias para evaluar su potencial biodegradador de termoplásticos.

Yang, et al. (2021), probaron larvas de *Tenebrio molitor* como biodegradadoras de poliestireno (PS) con un peso molecular promedio (M_w) 256,4 kDa y dos espumas polietileno de baja densidad (LDPE) con M_w respectivos de 130,6 kDa (PE-1) y 288,7 kDa (PE-2) desarrollando la prueba por un periodo de 60 días. Confirmaron el proceso de la biodegradación y oxidación de EPS y LDPE mediante el análisis FTIR y TGA de los excrementos, estos dos métodos les permitieron observar la formación de nuevos grupos funcionales (oxígeno) y el cambio en la propiedad física y la modificación química. Así mismo encontraron la amplia despolimerización de EPS y PE-1, y una despolimerización con grado limitado de PE-2. Concluyendo que la biodegradación de PS depende de los microbios

intestinales, sin embargo, la biodegradación de LDPE era menos dependiente de los microbios intestinales.

Tsochatzis, et al. (2021), evaluaron la biodegradación de poliestireno (PS) por *Tenebrio molitor* en tres diferentes dietas que consistieron en PS, cebada laminada y agua, la degradación de PS varió del 16% al 23% en 15 días, sin diferencias estadísticas en las tasas de mortalidad, en cambio, las larvas que alimentaron con cebada:PS (20:1 p/p) y agua tuvo la mayor tasa de crecimiento, sin embargo, observaron un mayor consumo de PS para cebada:PS de 4:1 p/p. Realizaron un análisis GC-TOF-MS en donde revelaron que no existen sustancias contaminantes en el tejido intestinal, ni estireno ni oligómeros de PS, sin embargo están presentes varios compuestos bioactivos y trazas de alcanos, principalmente con pequeñas cadenas de carbono. Demostraron que los compuestos orgánicos degradantes y contaminantes ocurren en niveles bajos, tanto en el intestino como en el excremento, durante la biodegradación del PS. Se relaciona con la presente investigación al demostrar la capacidad de *Tenebrio molitor* para degradar poliestireno sin generar acumulación significativa de compuestos contaminantes, aportando información sobre la viabilidad y seguridad del uso de insectos detritívoros como alternativa para el tratamiento de residuos plásticos.

Luo, et al. (2021), utilizaron tres tipos de plásticos que incluyen poliestireno (PS), polietileno (PE) y espuma de poliuretano (PU) como alimento de las larvas *Zophobas atratus* por un periodo de 35 días y también salvado como control. Las larvas alimentadas con PS o PU mostraron tasas de supervivencia del 100%, las larvas alimentadas con PE y las larvas de inanición tuvieron tasas de supervivencia reducidas del 81,67% y 65%, respectivamente. Tanto los grupos alimentados con plásticos como los de inanición mostraron una disminución del peso de las larvas. Las tasas de consumo fueron PS (1.41 mg/d/larva), PE (0.30 mg/d/larva) y PU (0.74 mg/d/larva). Los análisis de espectroscopia infrarroja por transformada de

Fourier de reflexión total atenuada (ATR-FTIR) y calorímetro diferencial de barrido y termogravimétrico (DSC-TGA) demostró que hubo cambios de los grupos funcionales y la termoestabilidad en los excrementos. Se relaciona con la presente investigación al evidenciar que la biodegradación de plásticos depende de las características del polímero evaluado, proporcionando una referencia para comparar la respuesta de diferentes termoplásticos y emplear indicadores de cambio físico-químico para determinar su degradación.

2.1.2 Nacional

Olivas (2025), se determinó la capacidad biodegradadora de las larvas de *Zophobas morio* sobre poliestireno expandido (EPS) bajo condiciones controladas, con el objetivo de evaluar su potencial como alternativa biológica para el tratamiento de residuos plásticos. La investigación presentó un enfoque cuantitativo, de tipo aplicada y nivel explicativo, con un diseño cuasiexperimental, empleando grupos control y experimentales sometidos a diferentes densidades larvarias (50, 70 y 100 individuos) y tiempos de exposición (15 y 30 días). La evaluación se realizó mediante el seguimiento de la pérdida de masa del plástico y la supervivencia de las larvas. Los resultados mostraron que la mayor eficiencia de degradación se obtuvo con una densidad de 100 larvas durante 30 días, alcanzando una reducción del 6,3 % de la masa del EPS y una supervivencia promedio del 97,5 %. Se concluyó que *Zophobas morio* presenta capacidad para degradar poliestireno expandido y representa una alternativa potencial para la gestión sostenible de residuos plásticos. Se relaciona con la presente investigación porque analiza la influencia de variables experimentales como la densidad larvaria y el tiempo de exposición sobre la biodegradación del plástico, proporcionando una base metodológica para evaluar la eficiencia degradadora de insectos detritívoros frente a diferentes tipos de termoplásticos.

Leyva (2024), evaluó la biodegradación del tereftalato de polietileno (PET), así mismo del poliestireno expandido (EPS) mediante la utilización de

líquido ruminal vacuno y larvas de *Tenebrio molitor*, con condiciones controladas de laboratorio. El estudio consideró periodos de evaluación de 30, 60, 90 y 120 días, teniendo cinco repeticiones por tratamiento. Los resultados indicaron que el líquido ruminal presentó mayor eficiencia en la degradación del PET, alcanzando su mayor porcentaje a los 120 días, mientras que *Tenebrio molitor* mostró una mayor habilidad degradativa frente al poliestireno, especialmente en los periodos de mayor duración. En contraste, la degradación del PET por *T. molitor* fue limitada. Finalmente, el autor determinó que ambos tratamientos presentan comportamientos diferenciados según el tipo de polímero, demostrando su potencial como alternativas biológicas para el tratamiento de residuos plásticos. Nos aporta información relevante sobre la influencia del tipo de polímero en la capacidad biodegradadora de organismos biológicos, permitiendo comprender que la eficiencia de degradación varía según las características del plástico evaluado.

Caruajulca y Huamán (2024), analizaron la degradación del poliestireno expandido (EPS) por bacterias cultivables relacionados al intestino de larvas de *Tenebrio molitor*. El estudio mensuro el microbiota intestinal de larvas provenientes de un centro de comercialización y de crianzas alimentadas con dietas que incluyeron EPS, seleccionándose cepas bacterianas capaces de aplicar el polímero como fuente de carbono y energía. Las bacterias degradadoras, identificadas principalmente como *Staphylococcus* sp., *Citrobacter* sp., *Enterobacter* sp. y *Shigella* sp., presentaron eficiencias variables de degradación, consiguiendo una pérdida de peso del EPS de hasta 12,68 %. Los autores concluyeron que estas bacterias intestinales poseen un potencial biotecnológico relevante para la biodegradación del poliestireno expandido.

Hoyos (2024), esta investigación tuvo como objetivo evaluar la capacidad de biodegradación de diversos plásticos de uso frecuente por parte del coleóptero *Tenebrio molitor* en condiciones de laboratorio. Este estudio fue de naturaleza aplicada y la utilización de un diseño experimental en el que

se seleccionaron larvas de *T. molitor* de tamaño uniforme, las cuales fueron alimentadas en un periodo de dos meses con distintos tipos de polímeros sintéticos: tereftalato de polietileno (PET), polietileno de alta densidad (HDPE), polietileno de baja densidad (LDPE), polipropileno (PP) y poliestireno (PS). Cada tratamiento incluyó cinco repeticiones, con 30 larvas alimentadas con 20 g de cada material plástico, mientras que el grupo control recibió zanahoria y papa como dieta de referencia. El análisis de los datos reveló variaciones en la masa consumida según el tipo de polímero, observándose que *T. molitor* mostró una mayor efectividad de biodegradación sobre el poliestireno en comparación con los demás plásticos. Los resultados obtenidos en esta investigación pueden contribuir al desarrollo de estrategias biotecnológicas orientadas a la mitigación de la contaminación por residuos plásticos. Se relaciona con el presente estudio al evaluar el efecto de diferentes fuentes de alimentación, comparando dietas basadas en plásticos sintéticos frente a una dieta convencional de control, permitiendo analizar cómo la disponibilidad de alimento influye en la capacidad de degradación y comportamiento de los insectos detritívoros durante el proceso biodegradativo.

Castro y Muñoz (2023), determinaron la biodegradación mediante las larvas de *Zophobas morio* en residuos de poliuretano (PU) y polipropileno (PP) en San Juan de Lurigancho. Usaron 2 gr PP y PU en un periodo de 28 días, colocaron 30 larvas en cada grupo pesando y midiendo con anterioridad. Registraron una disminución del 0,63% y 0,1% en PU y PP respectivamente, así mismo observaron aumentos en la masa y longitud de las *Zophobas morio* 0,026 g y 0,27 cm para PU, y 0,024 g y 0,27 cm para PP. Analizaron la generación de carbono de 10 larvas alimentadas con PU y PP, las mediciones dieron como resultado un aumento del 4% y 2.5% para el PU y PP respectivamente. Los autores concluyeron que el uso de larvas de *Zophobas morio* hace posible la reducción de residuos de PU y PP, sin embargo, la reducción fue significativa recién el día 28, los resultados destacan la

necesidad de seguir investigando para lograr una reducción más significativa de estos residuos. Se relaciona con el presente estudio al demostrar que una misma especie de insecto puede presentar diferentes respuestas biodegradativas según el material plástico al que es expuesta, aportando criterios para seleccionar y comparar polímeros con diferente composición química dentro de la evaluación de la capacidad degradadora de insectos detritívoros.

2.1.3 Local

Se realizaron consultas en las bases de datos del repositorio de la Universidad Nacional de Huancavelica, así como en bibliotecas de otras universidades públicas y privadas, y en páginas web de centros de investigación. No se encontró ningún reporte científico que aborde el tema de esta investigación en el contexto local, por lo que se considera que este estudio constituye un aporte pionero para la región.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Marco teórico

2.2.1.1 *Teoría de la evolución de las especies*

La teoría de la evolución por selección natural propuesta por Charles Darwin (1859) sostiene que las especies experimentan cambios graduales a lo largo del tiempo como resultado de la variabilidad genética y de la interacción con su entorno. Según esta teoría, los organismos que poseen características favorables para sobrevivir y reproducirse en determinadas condiciones ambientales tienen mayores probabilidades de transmitir dichas características a las siguientes generaciones. Como consecuencia, las poblaciones desarrollan adaptaciones que les permiten responder a cambios ambientales, aprovechar nuevos recursos y mejorar sus posibilidades de supervivencia. Actualmente, esta teoría continúa siendo el fundamento

de la biología evolutiva y explica cómo los organismos modifican progresivamente sus características fisiológicas, metabólicas y ecológicas en respuesta a las presiones del ambiente, (Boctor et al., 2024; Sangiorgio et al., 2021).

Desde una perspectiva evolutiva, la capacidad observada en *Tenebrio molitor*, *Zophobas morio* y potencialmente *Blaptica dubia* no surgió específicamente para degradar plásticos, debido a que estos materiales existen desde hace apenas unas décadas en comparación con la escala temporal de la evolución biológica. Más bien, se considera que estas capacidades son consecuencia de adaptaciones evolutivas previamente desarrolladas para degradar materia orgánica compleja, lignocelulosa y otros compuestos ricos en carbono. Como resultado, las enzimas digestivas y microorganismos intestinales presentes en estas especies pueden interactuar con ciertos polímeros sintéticos, generando procesos de biodegradación que actualmente son estudiados como alternativas sostenibles para el tratamiento de residuos plásticos (Yang et al., 2024)

2.2.1.2 Teoría macromolecular de los polímeros

La teoría macromolecular fue propuesta por Hermann Staudinger en 1920 y constituye uno de los pilares fundamentales de la química moderna de los polímeros. En esta teoría, Staudinger sostuvo que los polímeros no son asociaciones de moléculas pequeñas, como se creía anteriormente, sino macromoléculas formadas por largas cadenas de unidades estructurales repetitivas denominadas monómeros, unidas mediante enlaces covalentes. Este planteamiento revolucionó el conocimiento científico al demostrar que las propiedades físicas, químicas y mecánicas de los materiales poliméricos dependen de la estructura molecular, el peso molecular, la longitud de las cadenas y la disposición de sus enlaces, sentando las bases para el desarrollo de la

ciencia y la tecnología de los polímeros. Asimismo, esta teoría permitió comprender el comportamiento de los materiales poliméricos y establecer su clasificación según la respuesta que presentan frente al calor y sus características estructurales. En este contexto, los termoplásticos corresponden a polímeros cuyas cadenas moleculares pueden reblandecerse al ser sometidas a elevadas temperaturas y solidificarse nuevamente durante el enfriamiento sin experimentar cambios permanentes en su estructura química, propiedad que permite su reprocesamiento y moldeo repetido (Staudinger, 1920).

2.2.2 Marco conceptual

2.2.2.1 *Distribución de termoplásticos en el mundo*

En los últimos años, el aumento en la producción y el uso de plásticos se ha intensificado en países de Europa, Asia y Norteamérica. Esta situación ha acelerado la acumulación de residuos plásticos y ha generado una carga cada vez mayor sobre el medio ambiente, con efectos negativos en la biodiversidad y en la salud humana (Rodrigues et al., 2019). Los termoplásticos como el PET, el poliestireno expandido (EPS), el polipropileno (PP) y el polietileno de baja densidad (PE-BD) son termoplásticos de uso común. Aunque en muchos países se reciclan mediante métodos térmicos, mecánicos y químicos, su manejo sigue siendo complejo debido a sus largos tiempos de degradación y a los altos costos asociados a su gestión (Tabla1).

Tabla 1

Producción aproximada de plásticos/termoplásticos por país (2023-2025).

País / Región	Producción anual (toneladas)
China	~127 Mt
Estados Unidos	~85 Mt
Canadá	~85 Mt
Alemania	~18–20 Mt
Japón	~12 Mt
India	~10–18 Mt

Francia	~57 Mt
Reino Unido	~57 Mt
Italia	~57 Mt
Resto de Europa	~57 Mt

Nota. IndexBox. (2024a).

La literatura indica que, en los últimos dos años (2024–2025), la producción mundial de plásticos ha continuado en aumento, según estimaciones comparativas basadas en datos globales de producción total. En este contexto, China lidera la producción de las cuatro principales resinas a nivel mundial (PET, PP, PE y PS), concentrando aproximadamente el 34 % del total combinado (IndexBox, 2024a). Le sigue Estados Unidos, que ocupa el segundo lugar como mayor productor de este grupo de resinas, con alrededor del 13 %. India se posiciona como un productor relevante, con cerca del 5 % de la producción global, mientras que Japón presenta una producción similar. En Europa, Alemania destaca como el principal productor, aunque con una cuota considerablemente menor, cercana al 2 % como se muestra en la Tabla 2 (PlasticsEurope, 2020; IndexBox, 2024b).

Tabla 2

Estimada de producción de termoplásticos por país y tipo.

País	PET (%)	EPS (%)	PP (%)	PE-LD / PE-BD (%)
China	34	34	34	34
Estados Unidos	13	13	13	13
India	5	5	5	5
Japón	5	5	5	5
Alemania (Europa)	2	2	2	2

Nota. IndexBox. (2024a), (2024b).

2.2.2.2 *Los termoplásticos en los países latinoamericanos*

No existen indicadores oficiales consolidados sobre la producción de termoplásticos en los países latinoamericanos. Sin embargo, se dispone de estadísticas confiables sobre la producción y el consumo de plásticos provenientes de fuentes primarias, las cuales incluyen principalmente resinas termoplásticas como PE, PP, PET, PVC y EPS, entre otras. Estos datos pueden visualizarse en las Tablas 3 y 4 (IndexBox, 2024c; Economista, 2025).

Tabla 3

Estimación de producción y consumo de termoplásticos en América Latina (2023-2025)

Indicador (Millones de toneladas)	2023 (estim.)	2024 (reportado)	2025 (estim.)
Consumo total de plásticos (proxys termoplásticos)	~42 Mt*	43 Mt	~44 Mt**
Producción total de plásticos (proxys termoplásticos)	~31 Mt*	30 Mt	~31 Mt**
Exportaciones	~3 Mt*	~3.3 Mt	~3.4 Mt**
Importaciones	~15 Mt*	~16 Mt	~16.5 Mt**

Nota. Leyenda: * Estimado 2023 basado en la variación observada entre años previos (2023-2024), ** Proyección 2025 con crecimiento moderado del consumo y producción regional (~+2–3 %); IndexBox (2024c) y Economista (2025).

Tabla 4*Producción de termoplásticos según países de América Latina*

País	2023 (estim.)	2024 (estim.)	2025 (estim.)	Observaciones
Brasil	~14.0	~14.0	~14.2	Principal productor regional (~46–48 % del total)
México	~6.0	~6.1	~6.1	Segundo mayor productor en la región
Colombia	~2.5	~2.6	~2.6	Tercer mayor productor regional
Otros países	~6.5	~7.3	~7.5	Incluye Argentina, Chile, Perú, Argentina, Chile y otros con participación menor

Nota. IndexBox. (2024c) y Economista (2025)

2.2.2.3 *Características de los termoplásticos*

Los termoplásticos son polímeros que se ablandan al calentarse y se endurecen al enfriarse, proceso que puede repetirse varias veces sin que el material pierda significativamente sus propiedades químicas básicas existen varios tipos como se detalla a continuación (Khruengsai et al., 2023).

a. Poliestireno Expandido (EPS)

Chelomin et al. (2023), sustenta que el poliestireno expandido, conocido como EPS, constituye una parte significativa de los desechos plásticos en nuestro entorno, abarcando áreas costeras y marítimas. Este material es empleado en diversas industrias, como la acuicultura y la piscicultura, lo que representa un riesgo serio no solo para las especies acuáticas cultivadas, sino también para todos los seres vivos, humanos incluidos. (Adhikary y Ashish 2022), así mismo, el uso común de EPS en el sector del embalaje, la aplicabilidad diversa del EPS no biodegradable ayuda a incrementar la producción mundial de desechos.

b. Polipropileno (PP)

Blanco y Catarí (2024), argumenta que el polipropileno, conocido como PP, es un tipo de polímero termoplástico que se presenta de forma semi cristalina, en tonos blancos y semi opacos. Este plástico, se puede moldear con calor, se utiliza principalmente para fabricar componentes que requieren resistencia a productos químicos, ligereza y una fricción suave. Se caracteriza por su gran rigidez y dureza, ofreciendo una notable resistencia tanto a impactos como a líquidos corrosivos. Se clasifica como una poliolefina alifática que soporta altas temperaturas (hasta 160°C), presenta baja densidad y es muy fácil de moldear. En la actualidad, el PP se posiciona como el tercer termoplástico más comercializado y es uno de los más económicos, dado que puede ser creado a partir de materias primas petroquímicas de bajo costo.

c. Polietileno de baja densidad (PE-LD)

Muchos estudios argumentan que el polietileno de baja densidad (PE-LD) ha sido empleado en el comercio y ha llegado a acumularse como desecho plástico sólido. Se ha comprobado que este material no se descompone a lo largo de los años y se ha identificado como una fuente de polución en el entorno (Khruengsai et al., 2023).

2.2.2.4 *Métodos de tratamiento de plástico*

La contaminación por residuos plásticos representa una de las problemáticas ambientales y frente a esta, se han desarrollado diversos métodos de tratamiento y degradación orientados a reducir el volumen de residuos plásticos y minimizar sus efectos ambientales. Estos métodos comprenden procesos físicos, químicos, térmicos y biológicos

que permiten el reaprovechamiento, transformación o degradación parcial y total de los polímeros sintéticos (Hu et al., 2024).

2.2.2.5 *Reciclaje*

El reciclaje constituye uno de los métodos más empleados para el tratamiento de residuos plásticos debido a su capacidad para reincorporar materiales poliméricos dentro de los ciclos productivos industriales. Este proceso comprende etapas de recolección, clasificación, limpieza, trituración y reprocesamiento del material plástico para la fabricación de nuevos productos o materias primas secundarias (Luo et al., 2024).

El reciclaje puede clasificarse en reciclaje mecánico y reciclaje químico. El reciclaje mecánico consiste en la transformación física del polímero mediante procesos de molienda, extrusión y remoldeo térmico; mientras que el reciclaje químico implica la descomposición molecular del plástico para recuperar monómeros, hidrocarburos y compuestos reutilizables en procesos petroquímicos (Okolie et al., 2023).

Diversas investigaciones recientes señalan que el reciclaje representa una estrategia fundamental dentro de los modelos de economía circular debido a su potencial para disminuir la extracción de recursos naturales y reducir la acumulación de residuos plásticos. Sin embargo, este método presenta limitaciones relacionadas con la pérdida progresiva de propiedades mecánicas del polímero y la dificultad para reciclar materiales contaminados o mezclados (Luo et al., 2024).

2.2.2.6 *Incineración*

La incineración constituye un método térmico utilizado para reducir el volumen de residuos plásticos mediante combustión controlada a elevadas temperaturas. Este proceso permite disminuir

significativamente la acumulación de desechos sólidos y, en algunos casos, recuperar energía en forma de calor o electricidad (Hu et al., 2024).

Durante la incineración, los polímeros sintéticos son sometidos a temperaturas elevadas que favorecen su oxidación y degradación térmica. No obstante, investigaciones recientes indican que este proceso puede generar emisiones contaminantes como dióxido de carbono, óxidos de nitrógeno, dioxinas y partículas tóxicas que afectan la calidad ambiental y representan riesgos para la salud humana (Yang et al., 2024).

Asimismo, la eficiencia ambiental de la incineración depende de la implementación de tecnologías avanzadas de control de emisiones atmosféricas y sistemas de tratamiento de gases residuales. Debido a ello, aunque la incineración reduce considerablemente el volumen de residuos plásticos, continúa siendo una alternativa controversial desde el punto de vista ambiental (Hu et al., 2024).

2.2.2.7 Pirólisis

La pirólisis es un proceso termoquímico basado en la descomposición de materiales plásticos mediante elevadas temperaturas en ausencia parcial o total de oxígeno. Durante este proceso, las cadenas poliméricas sufren ruptura térmica, generando productos líquidos, gaseosos y sólidos con potencial de aprovechamiento energético e industrial (Shareefdeen & ElGazar, 2024).

Entre los principales productos obtenidos mediante pirólisis se encuentran aceites combustibles, gases ricos en hidrocarburos y carbón sólido, los cuales pueden utilizarse como combustibles alternativos o materias primas petroquímicas. Debido a ello, este método ha adquirido

importancia como alternativa para el tratamiento de residuos plásticos de difícil reciclaje convencional (Luo et al., 2024).

Las investigaciones recientes destacan que la pirólisis presenta ventajas relacionadas con la reducción del volumen de residuos y recuperación energética; sin embargo, también posee limitaciones asociadas al elevado consumo energético, costos operativos y necesidad de infraestructura tecnológica especializada (Shareefdeen & ElGazar, 2024).

2.2.2.8 *Biodegradación de plásticos*

a. Biodegradación

La biodegradación constituye un proceso biológico complejo mediante el cual diversos microorganismos, tales como bacterias, hongos y microbiota asociada a insectos detritívoros, transforman compuestos orgánicos complejos en sustancias más simples a través de mecanismos metabólicos y enzimáticos. En el caso de los termoplásticos, la biodegradación implica la alteración progresiva de las cadenas poliméricas hasta su conversión en dióxido de carbono, agua, metano y biomasa, dependiendo de las condiciones ambientales y del tipo de metabolismo microbiano presente (Thew et al., 2023).

a.1 Degradación física

La degradación de materiales plásticos puede clasificarse en degradación física, química y biológica. La degradación física comprende la fragmentación del polímero ocasionada por factores ambientales como radiación ultravioleta, temperatura, abrasión y esfuerzos mecánicos. Este proceso produce modificaciones estructurales superficiales sin alterar completamente la

composición química del material, favoreciendo la formación de microplásticos (Gewert et al., 2015).

a.2 Degradación química

La degradación química implica cambios moleculares inducidos por reacciones de oxidación, hidrólisis o fotodegradación, las cuales debilitan los enlaces químicos de las cadenas poliméricas y facilitan su posterior descomposición (Okolie et al., 2023).

a.3 Degradación biológica

Finalmente, la degradación biológica corresponde a la acción metabólica de organismos vivos capaces de utilizar parcial o totalmente el polímero como fuente de carbono y energía. Este proceso depende principalmente de la actividad enzimática desarrollada por microorganismos y microbiota intestinal especializada (Thew et al., 2023).

2.2.2.9 *Procesos de biodegradación*

La biodegradación de termoplásticos comprende una serie de etapas interrelacionadas que involucran procesos físicos, químicos y biológicos capaces de modificar progresivamente la estructura molecular del polímero.

a. Fragmentación

La fragmentación constituye la etapa inicial de degradación y consiste en la reducción del tamaño del material plástico mediante procesos mecánicos, térmicos o biológicos. Esta disminución del tamaño de partícula incrementa el área superficial expuesta, favoreciendo la interacción entre el polímero y los microorganismos degradadores. Asimismo, la fragmentación facilita la penetración de

enzimas y agentes oxidantes sobre las cadenas poliméricas (Gewert et al., 2015).

b. Oxidación

La oxidación corresponde a un proceso químico donde las cadenas del polímero sufren modificaciones estructurales por acción del oxígeno atmosférico, radiación ultravioleta o agentes oxidantes. Estas reacciones generan ruptura de enlaces covalentes, disminución del peso molecular y formación de grupos funcionales oxigenados que incrementan la susceptibilidad del material frente a la actividad microbiológica (Okolie et al., 2023).

c. Mineralización

La mineralización representa la etapa final de la biodegradación, en la cual los compuestos orgánicos derivados del polímero son transformados completamente en sustancias inorgánicas simples, principalmente dióxido de carbono (CO_2), agua (H_2O), metano (CH_4) y biomasa microbiana. Este proceso evidencia la capacidad metabólica de los microorganismos para incorporar los compuestos resultantes dentro de sus ciclos biológicos (Thew et al., 2023).

d. Acción microbiológica

La acción microbiológica constituye uno de los mecanismos fundamentales en la biodegradación de termoplásticos. Diversas bacterias, hongos y microorganismos intestinales producen enzimas extracelulares capaces de hidrolizar y oxidar las cadenas poliméricas, facilitando su utilización como fuente energética. Investigaciones recientes han demostrado que el microbiota intestinal de insectos detritívoros como *Tenebrio molitor* y *Zophobas morio* presenta potencial biodegradador frente a determinados polímeros sintéticos,

especialmente poliestireno y polietileno de baja densidad (He et al., 2024).

2.2.2.10 Factores que influyen en la biodegradación

La eficiencia de la biodegradación de termoplásticos depende de diversos factores ambientales, fisicoquímicos y biológicos que condicionan la actividad metabólica de los organismos degradadores y la susceptibilidad del polímero.

a. Temperatura

La temperatura influye directamente sobre la velocidad de las reacciones bioquímicas y la actividad metabólica de los microorganismos. Temperaturas moderadamente elevadas favorecen la actividad enzimática y aceleran la degradación del polímero; sin embargo, temperaturas extremas pueden alterar la estabilidad celular y reducir significativamente la eficiencia biodegradadora (Thew et al., 2023).

b. Humedad

La humedad constituye un factor esencial para el crecimiento y metabolismo microbiano, debido a que facilita el transporte de nutrientes y la actividad enzimática. Condiciones de baja humedad limitan el desarrollo microbiológico y disminuyen considerablemente la velocidad de biodegradación de materiales plásticos (Crystal Thew et al., 2024).

c. Oxígeno

La disponibilidad de oxígeno determina el tipo de metabolismo involucrado en el proceso degradativo. En condiciones aerobias, los microorganismos convierten el polímero principalmente en dióxido de carbono y agua; mientras que, en ambientes anaerobios, predominan

procesos fermentativos asociados a la producción de metano y otros compuestos intermedios (Okolie et al., 2023).

d. Tipo de polímero

La biodegradabilidad de los termoplásticos depende significativamente de su composición química, peso molecular, grado de cristalinidad y presencia de aditivos. Polímeros con estructuras más simples y menor cristalinidad presentan mayor susceptibilidad frente a la acción microbiana, mientras que materiales altamente cristalinos muestran elevada resistencia a la degradación biológica (Fiandra et al., 2023).

e. Actividad microbiológica

La actividad biológica depende del tipo de microorganismo o insecto involucrado en el proceso degradativo, así como de la presencia de enzimas específicas capaces de romper las cadenas poliméricas. Diversos estudios recientes evidencian que el microbiota intestinal de insectos detritívoros posee potencial para acelerar la degradación parcial de ciertos termoplásticos mediante procesos enzimáticos y metabólicos especializados (He et al., 2024).

2.2.2.11 Marco biológico

a. *Tenebrio molitor*

Tenebrio molitor es un coleóptero, reconocido como plaga de harinas, granos y productos almacenados. Presenta un ciclo biológico completo con cuatro fases: huevo, larva, pupa y adulto. Las hembras pueden ovipositar cerca de 500 huevos, los cuales eclosionan entre 3 y 9 días bajo condiciones de 25 °C, dando lugar a la fase larval. Esta etapa, de color amarillo a marrón claro, se prolonga aproximadamente de 1 a 8 meses. La pupación ocurre durante 5 a 28 días a 18 °C, mientras que la vida adulta se extiende

de 2 a 3 meses. Las larvas alcanzan longitudes cercanas a 2,0–3,5 cm o mayores, y los adultos miden alrededor de 1 cm. La especie es omnívora y consume tanto materiales de origen vegetal como animal; sin embargo, para un desarrollo óptimo se recomienda una dieta con alrededor del 20 % de proteína. En sistemas de producción, se alimenta principalmente de salvado o harinas de cereales (trigo, avena y maíz), complementadas con frutas y verduras como fuente de humedad. Las principales fuentes proteicas incluyen harina de soya, leche descremada en polvo y levadura (Hong et al., 2020).

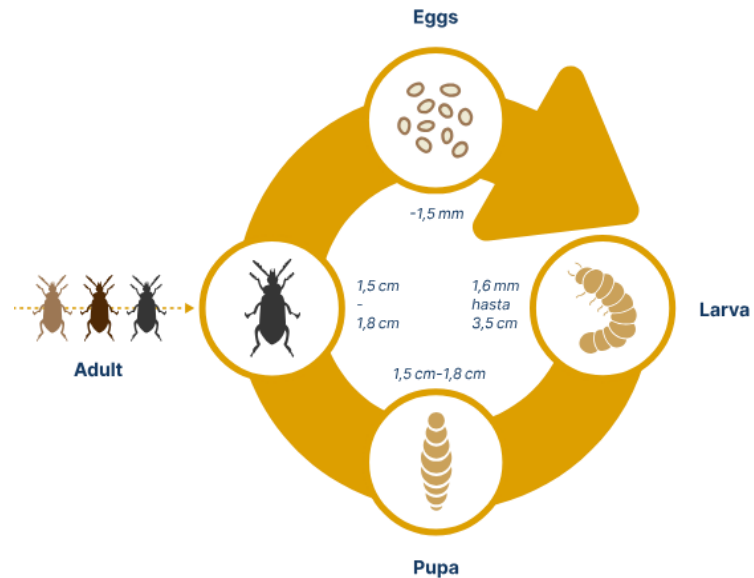
Taxonomía

- Reino: Animalia
- Clase: Insecta
- Orden: Coleoptera
- Familia: Tenebrionidae
- Género: Tenebrio
- Especie: T. molitor

Como se observa en la (Figura 1):

Figura 1

Ciclo de vida de Tenebrio Molitor



Nota. Hong et al., (2020).

b. Zophoba morio

Las larvas de *Zophobas morio* pertenecen a un escarabajo tenebriónido originario de América Central y del Sur, conocido como gusano gigante, super gusano o gusano rey, denominaciones asociadas a su notable tamaño en comparación con otras especies como *Tenebrio molitor*. Esta especie, desarrolla una metamorfosis completa. Bajo condiciones óptimas de temperatura cercanas a los 27 °C y una alimentación adecuada, el recambio generacional puede producirse en un periodo aproximado de tres meses y medio a cuatro meses. (Sun, 2022).

Desde el punto de vista morfológico, el adulto corresponde a un escarabajo de color negro opaco, cuerpo robusto y desplazamiento ágil. No obstante, es la fase larvaria la que posee mayor relevancia práctica, debido a su elevado contenido proteico, lo que la hace ampliamente utilizada en la alimentación

de diversos animales como peces, aves, reptiles, anfibios y pequeños mamíferos. Las larvas se caracterizan por su gran tamaño, pudiendo alcanzar hasta 6 cm de longitud, presentan seis patas pequeñas y estructuras rudimentarias adicionales, con extremos corporales más oscuros. Una particularidad destacable de esta especie es que, cuando las larvas se mantienen en aislamiento durante un periodo determinado, pueden iniciar el proceso de metamorfosis y transformarse en escarabajos que alcanzan tamaños cercanos a los 3 cm. (Olivas, 2025).

El ciclo de vida inicia con la oviposición, donde los huevos, de forma alargada y color blanquecino translúcido, son depositados en un sustrato adecuado. Tras un periodo de incubación aproximado de una semana, emergen larvas de pequeño tamaño que comienzan una fase intensiva de crecimiento. Durante esta etapa, las larvas incrementan rápidamente su peso y longitud, alimentándose de una amplia variedad de sustratos, incluidos frutos, vegetales y granos secos. Al alcanzar la madurez larvaria, generalmente alrededor de los 60 días o cuando superan los 4 cm de longitud, buscan un ambiente seco y protegido para iniciar la fase de pre pupa, caracterizada por la inmovilización progresiva y el aumento de grosor corporal. Posteriormente, se transforman en pupas de color claro, que con el tiempo adquieren tonalidades más oscuras, permaneciendo en este estado por un periodo aproximado de diez a doce días. Finalmente, emerge el imago o adulto joven, inicialmente de color claro, que se oscurece gradualmente hasta alcanzar la coloración característica de la especie, completando así el proceso metamórfico.

En cuanto a la alimentación, aunque las dietas más eficaces se basan en alimentos secos y balanceados, ricos en

proteínas y grasas, similares a los utilizados en la crianza de animales de corral. Asimismo, el suministro de frutas y vegetales aporta la humedad necesaria, reduciendo la necesidad de agua adicional. Por el contrario, se desaconseja estrictamente el uso de alimentos fritos o con alto contenido de aceites, ya que pueden afectar negativamente la salud y supervivencia de las larvas. (Úbeda y Maes 2021).

Taxonomía

- Reino: Animalia
- Clase: Insecta
- Orden: Coleoptera
- Familia: *Tenebrionidae*
- Género: *Zophobas*
- Especie: *Zophobas morio*

Como se observa en la (Figura 2):

Figura 2

Ciclo de vida de Zophoba morio



Nota. Úbeda y Maes 2021.

c. *Blaptica dubia*

Blaptica dubia es una especie de cucaracha perteneciente a la familia Blaberidae, cuyo origen se sitúa en las regiones tropicales y subtropicales de América del Sur. Su distribución natural abarca principalmente países como Brasil, Guyana, Surinam y áreas del norte de Argentina, donde habita ecosistemas caracterizados por temperaturas elevadas, alta humedad y abundante materia orgánica en descomposición. Estos ambientes han condicionado su adaptación a microhábitats estables, con escasa exposición a la luz y disponibilidad constante de refugios naturales. Presenta un ciclo de vida ovovivíparo, en el cual el desarrollo embrionario ocurre dentro de la hembra hasta la eclosión de las ninfas. Tras alcanzar la madurez sexual, las hembras inician el proceso reproductivo y, luego de un periodo de gestación de aproximadamente 60 a 70 días, liberan entre 25 y 30 ninfas vivas. Las ninfas emergen con una longitud cercana a 3 mm, coloración blanquecina y un exoesqueleto blando, el cual se endurece y oscurece progresivamente durante las primeras horas. El desarrollo ninfal se extiende alrededor de 4 meses, periodo en el que se producen mudas sucesivas hasta alcanzar el estado adulto (Voća et al., 2026).

La temperatura ambiental constituye un factor determinante en la duración del ciclo biológico y en la tasa reproductiva de la especie. El rango térmico óptimo para su desarrollo se sitúa entre 29 y 32 °C, condiciones que favorecen la gestación, la eclosión y el crecimiento ninfal. Temperaturas inferiores a 25 °C ralentizan el metabolismo, prolongan el desarrollo y reducen significativamente la reproducción, mientras que valores superiores a 35 °C incrementan la mortalidad y el estrés fisiológico. La humedad relativa adecuada se mantiene

entre 40 % y 60 %, evitando la desecación de las ninfas y problemas sanitarios asociados al exceso de humedad.

En cuanto a la alimentación, *B. dubia* la dieta se basa en alimentos secos como harinas y salvados de cereales, complementados con fuentes proteicas de origen vegetal. El suministro de frutas y verduras frescas cumple una doble función, aportando micronutrientes esenciales y actuando como principal fuente de humedad. Un acceso constante al agua o a alimentos con alto contenido hídrico resulta crítico para la supervivencia, especialmente en ninfas recién nacidas.

- Reino: Animalia
- Clase: Insecta
- Orden: *Blattodea*
- Familia: *Blaberidae*
- Género: *Blaptica*
- Especie: *Blaptica dubia*

Como se observa en la (Figura 3):

Figura 3

Ciclo de vida de Blaptica dubia



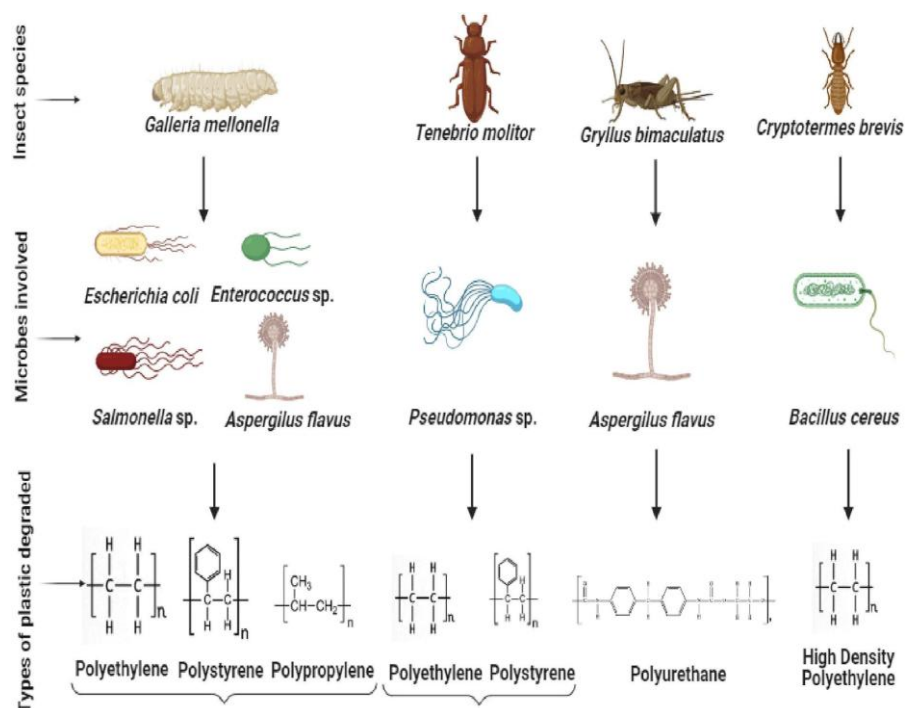
Nota. Voća et al., (2026).

2.2.2.12 Tipos de insectos que degradan plástico

Vishnu, et al. (2024), argumentan que, hasta la actualidad, se han dado a conocer varios estudios acerca de distintos insectos capaces de descomponer plástico. La mayoría de estas especies pertenecen a los grupos Lepidoptera y Coleoptera, también muchas variedades de termitas demuestran tener la capacidad de descomponer plásticos. Los reportes más antiguos solo mencionan las especies de insectos y su habilidad para descomponer diferentes categorías de plásticos, siendo el PE y el PS los más comunes como se observa en la (Figura 4).

Figura 4

Especies de insectos y sus microbios intestinales asociados que degradan el plástico y sus polímeros



Nota. Vishnu, et al. (2024).

Desde el año 2015, los científicos han encontrado que las larvas de ciertas variedades de insectos pueden descomponer tipos de plásticos en intervalos de tiempo muy reducidos. Dichos insectos pertenecen a

dos grupos importantes: *Coleoptera*, que comprende integrantes como *Tenebrio molitor*, *Tenebrio obscurus*, *Zophobas atratus*, *Uloma sp.*, y *Plesiophthalmus davidis*, así como un representante de la familia *Scarabaeidae*, *Protaetia brevitarsis* y del grupo *Lepidoptera*, que incluye miembros de la familia *Pyralidae*: *Plodia interpunctella*, *Galleria mellonella*, y *Achroia grisella*. Estos insectos tienen patrones alimenticios similares en diferentes hábitats. Los escarabajos oscuros tienden a alimentarse de material lignocelulósico que contiene compuestos aromáticos parecido al poliestireno, por su parte, las polillas *pyralid* prefieren cera de abejas que presenta enlaces similares al polietileno y polipropileno. La capacidad de descomponer plásticos en otras familias o grupos de insectos no ha sido suficientemente explorada. Por lo tanto, identificar y evaluar nuevas especies de insectos para su potencial en la degradación de plásticos se vuelve cada vez más crucial para el manejo adecuado de los residuos plásticos en el futuro. Li, et al. (2024).

2.2.2.13 Mecanismos de degradación de plásticos por insectos

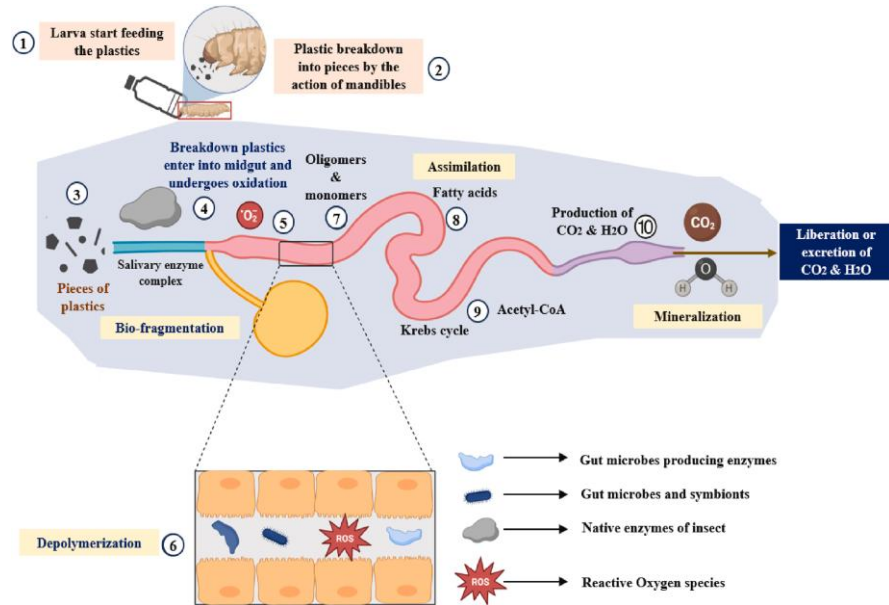
La biodegradación de plásticos por insectos constituye un proceso biológico complejo que involucra la acción conjunta de mecanismos físicos, químicos y microbiológicos. Diversas investigaciones recientes han demostrado que ciertas especies de insectos detritívoros, como *Tenebrio molitor*, *Zophobas morio* y otras larvas plastívoras, poseen la capacidad de consumir y fragmentar polímeros sintéticos como poliestireno (PS), polietileno (PE), polipropileno (PP) y poliuretano (PUR). Este proceso no depende únicamente del insecto, sino también de la interacción entre su sistema digestivo, las enzimas presentes en el tracto intestinal y el microbiota asociado, la cual desempeña un papel fundamental en la transformación de los (Vital-Vilchis & Karunakaran, 2025; Yang et al., 2024).

El microbiota intestinal desempeña un papel esencial en este mecanismo debido a que forma biopelículas sobre la superficie del plástico, facilitando la adhesión microbiana y concentrando enzimas degradativas directamente sobre el polímero. Estas comunidades microbianas generan un microambiente favorable para la degradación, promoviendo procesos de oxidación y escisión de cadenas poliméricas. Como resultado, parte del carbono contenido en el plástico puede transformarse en dióxido de carbono (CO_2), biomasa microbiana y otros metabolitos intermedios, contribuyendo a la mineralización parcial del material sintético (Liu et al., 2025; Yang et al., 2023)

Estudios realizados por Yang, et al.(2023), explica el proceso mediante el cual los insectos degradan plásticos estos se clasifican en cinco fases según investigaciones pertinentes: (1) Los plásticos son triturados por las piezas bucales y pasan al sistema digestivo; (2) los microorganismos presentes en el intestino se adhieren al plástico y lo desgastan; (3) el plástico se convierte en fragmentos de oligómeros a través de la oxidación o la hidrólisis de enzimas, que son suministradas tanto por el microbioma intestinal como por el organismo huésped; (4) el huésped aporta agentes bioemulsionantes que optimizan la efectividad de las enzimas del huésped y microbianas en el ataque a los polímeros; (5) los enlaces dentro de los oligómeros se rompen, produciendo ácidos grasos; y (6) los ácidos grasos se descomponen mediante los procesos metabólicos de los insectos. Para explorar métodos efectivos para la biodegradación de plásticos, es fundamental considerar el papel del microbiota intestinal en los insectos (Figura 5).

Figura 5

Mecanismo de degradación del plástico mediada por insectos



Nota. Vishnu, et al. (2024).

2.2.2.14 Importancia de las larvas y la cucaracha como tecnología degradadora de plástico

La contaminación por plásticos ha impulsado la búsqueda de alternativas biológicas sostenibles para su tratamiento. En este contexto, las larvas detritívoras como *Tenebrio molitor* y *Zophobas morio*, así como la cucaracha *Blattella germanica*, representan organismos con potencial biodegradador debido a la capacidad de su sistema digestivo y microorganismos asociados para intervenir en la transformación de ciertos polímeros sintéticos. El aprovechamiento de estos organismos constituye una estrategia de la biotecnología ambiental, ya que permite desarrollar procesos de degradación de residuos plásticos con menor impacto ambiental y bajo requerimiento tecnológico, especialmente en regiones donde se necesitan alternativas accesibles y sostenibles (Álvarez y Botache, 2020).

a. *Tenebrio molitor*

Tenebrio molitor es una de las pocas especies de insectos reportadas con capacidad para degradar materiales de alta resistencia estructural, incluyendo matrices lignocelulósicas presentes en residuos celulósicos como el cartón, así como diversos polímeros sintéticos tales como el poliestireno (PS), polietileno (PE), polipropileno (PP) y cloruro de polivinilo (PVC) (Wu y Criddle, 2021).

Diversos estudios han demostrado que la eficiencia del proceso de biodegradación de plásticos mediado por *T. molitor* se incrementa de manera significativa cuando su dieta es suplementada con residuos orgánicos. En este contexto, la pérdida y el desperdicio de alimentos (PDA) emergen como un recurso con alto potencial de aprovechamiento. Esta estrategia permite alcanzar un doble beneficio: por un lado, optimizar las tasas de degradación de materiales plásticos y, por otro, promover la valorización sostenible de la PDA (Khan et al., 2021).

b. *Zophoba morio*

Según Sun (2022), las larvas de *Zophobas morio* destacan en el ámbito científico por su capacidad para degradar plástico, evidenciada en diversos estudios experimentales. Estas investigaciones demuestran que, gracias a sus características biológicas, las larvas pueden alimentarse de materiales plásticos como el poliestireno y aprovecharlos como fuente de energía. Asimismo, incluso al avanzar en su proceso de metamorfosis, mantienen la capacidad de consumir cantidades significativas de este polímero en periodos cortos. En este sentido, *Zophobas morio* se perfila como una alternativa biotecnológica prometedora

para la reducción de la contaminación ambiental asociada a los residuos plásticos.

c. *Blaptica dubia*

Li et al., (2024) nos menciona que la *B. dubia* posee potencial para degradar PS, considerando que habita en ambientes ricos en residuos lignocelulósicos, de manera similar a otros insectos, como *Tenebrio molitor*, previamente reportados como degradadores de plásticos; el proceso de biodegradación del PS involucra tanto los mecanismos digestivos del insecto hospedador como la acción metabólica de los microorganismos presentes en su microbiota intestinal; y la eficiencia del proceso de biodegradación está influenciada por las características físico-químicas de los polímeros plásticos, particularmente por su peso molecular.

2.3 Definición de términos

Biodegradación: Proceso mediante el cual microorganismos, insectos o larvas descomponen materiales orgánicos o sintéticos, como los plásticos, transformándolos en sustancias más simples, generalmente agua, dióxido de carbono y biomasa (Arela et al., 2020).

Biomasa: Masa total de organismos vivos que consumen o interactúan con el plástico durante la biodegradación, incluyendo larvas, microorganismos y otros agentes biológicos (Kumar et al., 2020).

Biotecnología verde: Uso de organismos vivos o sus enzimas para desarrollar procesos sostenibles que reduzcan el impacto ambiental, como la biodegradación de plásticos (Conforme-García et al., 2024).

Cinética de biodegradación: Velocidad y patrón con los que un material plástico se descompone en el tiempo bajo condiciones específicas (Chamas et al., 2020).

Densidad: Es una magnitud física que expresa la cantidad de masa contenida en un volumen específico de una sustancia o cuerpo (Raviolo et al., 2022).

Digestión simbiótica: Proceso mediante el cual los organismos, como insectos o larvas, dependen de microorganismos presentes en su intestino para descomponer compuestos que no pueden digerir por sí mismos, como ciertos plásticos (Vital-Vilchis & Karunakaran, 2025).

Resiliencia ecológica: Capacidad de un ecosistema para absorber perturbaciones y recuperarse, manteniendo sus funciones esenciales; en el contexto de plásticos, se refiere a la capacidad de reducir la contaminación mediante procesos naturales (Folke et al., 2021).

Lignocelulosa: Es un material estructural de origen vegetal constituido principalmente por celulosa, hemicelulosa y lignina, los cuales forman la pared celular de las plantas y les proporcionan resistencia mecánica, rigidez y protección frente a factores ambientales (Singh et al., 2022).

Poliolefina alifática: Son una familia de polímeros sintéticos obtenidos mediante la polimerización de olefinas (alquenos) de cadena alifática, se caracterizan por estar constituidas principalmente por enlaces carbono-carbono (C–C) y carbono-hidrógeno (C–H), lo que les confiere alta estabilidad química, resistencia mecánica y baja reactividad frente a agentes biológicos (Boctor et al., 2024).

Hidrolisis: Es una reacción química en la que una molécula es escindida mediante la incorporación de una molécula de agua, provocando la ruptura de enlaces químicos y la formación de compuestos de menor tamaño molecular (Gates & Crook, 2024).

Microbiota intestinal: Es el conjunto de microorganismos, principalmente bacterias, arqueas, hongos y virus, que habitan de forma natural en el tracto digestivo de un organismo y establecen una relación simbiótica con su hospedador (Siddiqui et al., 2022).

Biopelícula: Comunidad estructurada de microorganismos adheridos a una superficie biótica o abiótica y embebidos en una matriz extracelular de producción propia, compuesta principalmente por polisacáridos, proteínas, lípidos y ácidos nucleicos extracelulares (Sauer et al., 2022).

Inanición: Es el estado fisiológico que ocurre cuando un organismo experimenta una deficiencia prolongada o total de nutrientes y energía debido a la ausencia o insuficiencia de alimento (Douglas, 2022)

2.4 Hipótesis

2.4.1 Hipótesis General

La capacidad de biodegradación de termoplásticos bajo condiciones controladas de laboratorio difiere entre la cucaracha *Blaptica dubia* y las larvas de *Tenebrio molitor* y *Zophobas morio*, reflejándose en variaciones en la reducción de la masa de los termoplásticos evaluados.

2.4.2 Hipótesis Específicas

La especie de insecto detritívoro (*Blaptica dubia*, *Tenebrio molitor* y *Zophobas morio*) influye en la capacidad de biodegradación de termoplásticos bajo condiciones controladas de laboratorio, generando variaciones en la reducción de la masa de los termoplásticos evaluados.

La densidad de los insectos detritívoros influye en la capacidad de biodegradación de termoplásticos bajo condiciones controladas de laboratorio,

observándose una mayor reducción de la masa de los termoplásticos conforme se incrementa la cantidad de individuos empleados.

El tiempo de exposición de los termoplásticos a los insectos detritívoros influye en la capacidad de biodegradación bajo condiciones controladas de laboratorio, evidenciándose una reducción progresiva de la masa de los termoplásticos durante el periodo experimental.

2.5 Variables

2.5.1 Variable independiente

- Insectos detritívoros: *Blaptica dubia*, *Tenebrio molitor* y *Zophobas morio*.

2.5.2 Variable dependiente

- Capacidad de biodegradación de termoplásticos: Polipropileno (PP), poliestireno expandido (EPS) y polietileno de baja densidad (LDPE)

2.6 Operacionalización de variables

Tabla 5

Operacionalización de variables

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensión	Subdimensiones	Indicadores	Escala de medición	Técnicas e Instrumentos
Independiente: Insectos detritívoros	Son organismos que se alimentan de materia orgánica en descomposición y cuyo microbiota intestinal puede contribuir a la degradación de polímeros sintéticos, participando en los procesos de reciclaje de nutrientes y transformación de materiales (Yang et al., 2023).	La variable será evaluada mediante la utilización de tres especies de insectos detritívoros (<i>Tenebrio molitor</i> , <i>Zophobas morio</i> y <i>Blaptica dubia</i>) en densidades de 100, 200 y 300 individuos, mantenidos bajo condiciones controladas de laboratorio durante el periodo experimental.	Especie de insecto	<i>Blaptica dubia</i> , <i>Tenebrio molitor</i> , <i>Zophobas morio</i>	Especies utilizadas	Ordinal	Observación Ficha de registro
			Densidad poblacional	1. 100 individuos 2. 200 individuos 3. 300 individuos	Número de individuos por unidad experimental	Ordinal	Observación Ficha de registro
			Tiempo de exposición	T= 7, 14, 21, 28, 35, 42, 49 y 56 días	Tiempo de permanencia del termoplástico con los insectos detritívoros (días)	Ordinal	Observación Ficha de registro
Dependiente: Capacidad de biodegradación de termoplásticos	Proceso mediante el cual microorganismos y enzimas degradan polímeros sintéticos, modificando sus propiedades físicas y químicas hasta convertirlos en compuestos más simples como CO ₂ , H ₂ O, CH ₄ y biomasa (Koller et al., 2023).	La variable será medida a partir de la pérdida de masa de muestras del PP, EPS y LDPE expuestas a la acción de los insectos detritívoros en condiciones controladas. Las evaluaciones se realizarán cada siete días durante 56 días, registrándose la variación de masa (g) y considerando las dimensiones iniciales de las muestras.	Degradación Física	Polipropileno (PP)	Degradación de polipropileno (PP) teniendo en consideración en tiempo y masa: Tiempo: T1=7 días, T2=14 días, T3=21 días, T4=28 días, T5=35 días, T6=42 días, T7=49 días, T8=56 días. Masa: 3 gramos Área: 9 cm ²	Razón	Observación Ficha de registro
				Poliestireno expandido (EPS)	Degradación de poliestireno expandido (EPS) teniendo en consideración en tiempo y masa: Tiempo: T1=7 días, T2=14 días, T3=21 días, T4=28 días, T5=35 días, T6=42 días, T7=49 días, T8=56 días. Masa: 3 gramos Área: 24 cm ²	Razón	Observación Ficha de registro
				Poliétileno de baja densidad (LDPE)	Degradación de polietileno de baja densidad (LDPE) teniendo en consideración en tiempo y masa: Tiempo: T1=7 días, T2=14 días, T3=21 días, T4=28 días, T5=35 días, T6=42 días, T7=49 días, T8=56 días. Masa: 1.5 gramos Área: 24 cm ²	Razón	Observación Ficha de registro
			Consumo del termoplástico	PP, EPS y LDPE	Masa consumida (g). Porcentaje de consumo (%).	Razón	Observación Ficha de registro
			Velocidad de biodegradación	PP, EPS y LDPE	Tasa de biodegradación (g/día o mg/día)	Razón	Observación Ficha de registro

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

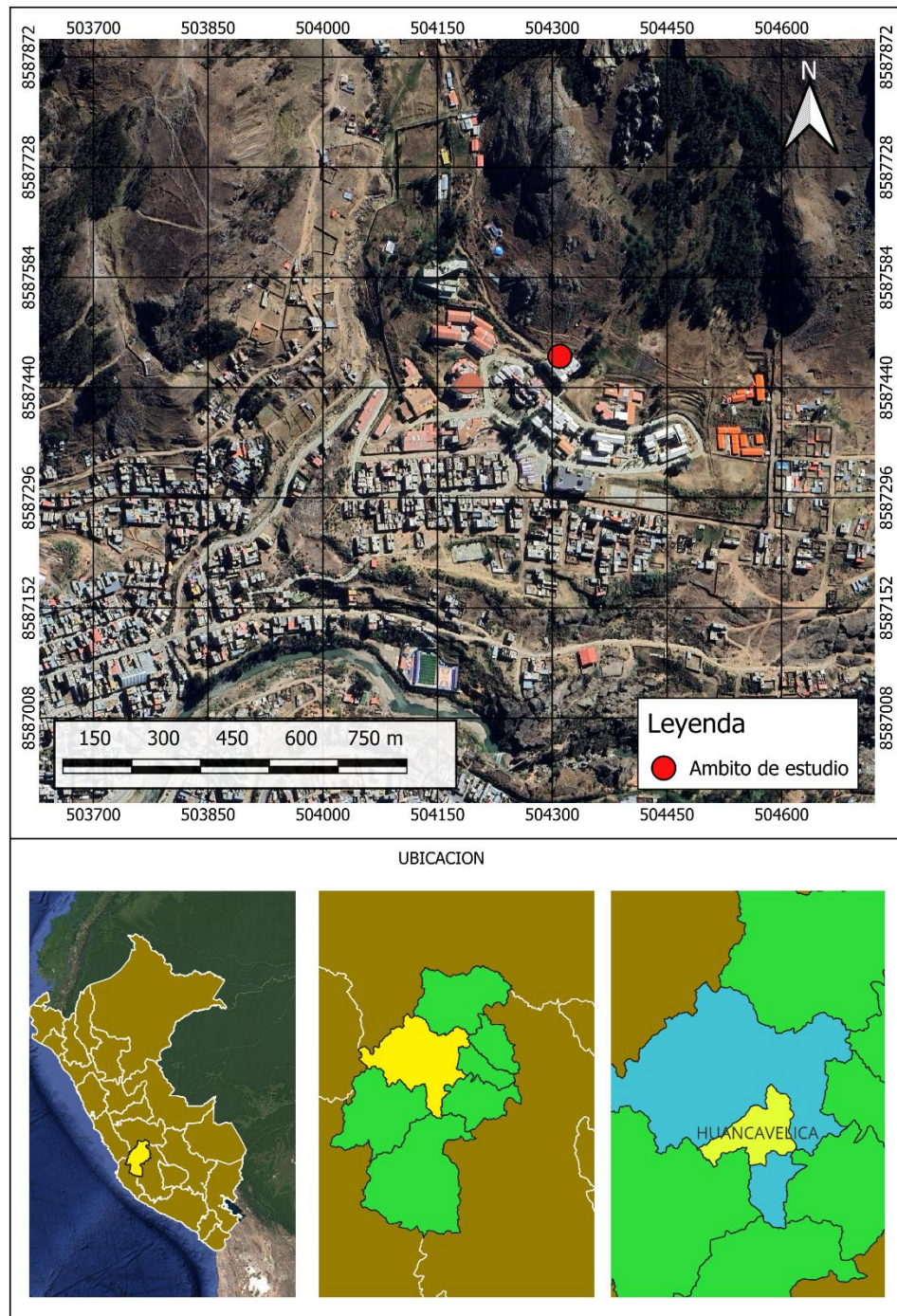
3.1 Ámbito espacial y temporal

3.1.1 Ámbito espacial

El estudio experimental sobre la capacidad de biodegradación de plásticos por insectos detritívoros se realizará en los ambientes del Laboratorio de Edafología de la Universidad Nacional de Huancavelica, donde se proporcionarán los acondicionamientos y las condiciones ambientales necesarias para el desarrollo del estudio. Dichos ambientes se encuentran ubicados dentro de la jurisdicción de la provincia de Huancavelica como se observa en la (Figura 6).

Figura 6

Esquema del estudio de los insectos detritívoros



3.1.2 Ámbito temporal

La presente investigación se desarrollará durante el periodo comprendido entre septiembre de 2026 y octubre de 2027, de acuerdo con el cronograma de actividades establecido para el proyecto. En este intervalo se ejecutarán las etapas de adquisición del material biológico, acondicionamiento del laboratorio, adaptación de los insectos detritívoros (*Blaptica dubia*, *Tenebrio molitor* y *Zophobas morio*), desarrollo de los ensayos de biodegradación de los termoplásticos (PP, EPS y LDPE), recolección y análisis de datos, así como la elaboración del informe final, del artículo científico y la sustentación de la investigación.

3.2 Métodos de Investigación

La investigación se desarrollará mediante el método científico, empleando los métodos inductivo y deductivo para analizar los resultados obtenidos y contrastarlos con fundamentos teóricos. Asimismo, se aplicará el método experimental, debido a que se manipulará la variable independiente bajo condiciones controladas de laboratorio para evaluar su efecto sobre la biodegradación de termoplásticos. También se utilizarán los métodos descriptivo, estadístico y bibliográfico para la observación, análisis de datos y recopilación de información científica (Medina et al., 2023).

3.2.1 Tipo de investigación

Esta investigación tiene un enfoque cuantitativo experimental, debido a que se manipula de manera deliberada la variable independiente para medir el potencial de biodegradación de los termoplásticos bajo entorno controlado del laboratorio. Esta clasificación coincide con lo expuesto por Vizcaíno et al. (2023), quienes destacan que en investigación cuantitativa experimental se trata de instaurar relaciones de causa - efecto a través del control sistemático de variables.

3.2.2 Nivel de investigación

El estudio se desarrollará bajo un enfoque explicativo, ya que tendrá como finalidad identificar e interpretar las diferencias en el potencial de biodegradación de los termoplásticos entre los insectos detritívoros evaluados (*Blaptica dubia*, *Tenebrio molitor* y *Zophobas morio*). Desde esta perspectiva, y conforme a lo señalado por Medina et al. (2023), la investigación no se limitará a describir los fenómenos observados, sino que buscará comprender las causas y la magnitud de las relaciones entre las variables, lo que permitirá inferir el origen de dichas diferencias mediante el control de condiciones experimentales.

3.2.3 Diseño de investigación

En la investigación se utilizará la experimental factorial completamente al azar de 3 x 3 x 8 diseño, considerando como factores el tipo de insecto detritívoro, la densidad de insecto detritívoro y el tiempo de exposición, con el fin de evaluar su efecto sobre la degradación de plásticos y la prueba de Tukey ($p < 0.05$) para las comparaciones de medias de significancia.

El modelo aditivo lineal se muestra de la siguiente manera.

$$Y_{ijkl} = \mu + T_i + D_j + t_k + (TD)_{ij} + (Tt)_{ik} + (Dt)_{jk} + (TDt)_{ijk} + \epsilon_{ijkl}$$

Donde:

Y_{ijkl} = degradación del plástico observada

μ = media general

T_i = efecto del i-ésimo especie de insecto

D_j = efecto de la j-ésima densidad de los insectos detritívoros

t_k = efecto del k-ésimo tiempo de exposición

$(TD)_{ij}$, $(Tt)_{ik}$, $(Dt)_{jk}$ =representan las interacciones dobles

$(TDt)_{ijk}$ = interacción triple

ε_{ijkl} = error experimental

3.3 Población, muestra y muestreo

3.3.1 Población

La población del presente estudio estará constituida por 5400 insectos detritívoros de las especies *Blaptica dubia*, *Tenebrio molitor* y *Zophobas morio*.

3.3.2 Muestra

La muestra estuvo conformada por los insectos detritívoros, seleccionados de acuerdo con las características requeridas para el desarrollo del experimento y distribuidos en los tratamientos establecidos por el diseño experimental.

3.3.3 Muestreo

El tipo de muestreo fue no probabilístico e intencional, debido a que los individuos fueron elegidos según los criterios definidos por el investigador y la disponibilidad de los organismos, sin que todos los elementos de la población tuvieran la misma probabilidad de ser seleccionados (Hernández y Mendoza, 2023).

Tabla 6

Estructura del tamaño de muestra en estudio.

Tipos de insectos detritívoros	Muestra
<i>Blaptica dubia</i>	1800
<i>Tenebrio molitor</i>	1800
<i>Zophoba morio</i>	1800
Total	5400

Criterios de inclusión: Se incluirá en el estudio individuos vivos que no presenten signos visibles de enfermedad ni daño físico. En el caso de *Blaptica dubia*, se consideraron ejemplares que se encuentren en la etapa de ninfa avanzada, mientras que para *Tenebrio molitor* y *Zophoba morio* se seleccionaron larvas en estadios de desarrollo comparables.

Criterios de exclusión: No se incluyeron en el estudio los individuos muertos, aquellos que presentaban signos evidentes de enfermedad o malformaciones morfológicas visibles. Asimismo, no se consideraron elegibles los ejemplares que registraron niveles elevados de mortalidad durante el período de aclimatación previo a la fase experimental.

3.4 Técnicas, instrumentos y procedimientos para recolección de datos

3.4.1 Técnica

Técnica de observación: La observación directa es una técnica de investigación cualitativa en la cual el investigador observa, registra e interpreta comportamientos, actividades o fenómenos tal como ocurren en su contexto natural, recolectando información en tiempo (Medina et al., 2023)., al utilizar esta técnica nos facilitara a examinar de manera visual los procesos de degradación de los plásticos mediante las larvas y las cucarachas a lo largo del tiempo de prueba.

3.4.2 Instrumento

Fichas de registro: La recopilación y sistematización de la información generada durante el experimento se realizará mediante fichas de registro digitales elaboradas en el software Microsoft Excel. En dichas fichas se consignarán de forma cronológica los valores correspondientes al peso y medición inicial del material termoplástico.

3.4.2.1 Confiabilidad del instrumento

La confiabilidad del instrumento se garantizará mediante la aplicación de procedimientos estandarizados para el registro de la información experimental. Las fichas de registro serán diseñadas con criterios uniformes, permitiendo consignar de manera ordenada y cronológica los datos obtenidos durante el desarrollo del experimento, tales como el peso inicial y final del material termoplástico, las dimensiones del plástico, el número de insectos utilizados, el tiempo de exposición, las condiciones ambientales y las observaciones del proceso de biodegradación. Asimismo, todas las mediciones se realizarán utilizando los mismos instrumentos previamente calibrados y siguiendo un protocolo único de medición, con la finalidad de minimizar errores sistemáticos y aleatorios. Los registros serán verificados periódicamente para detectar posibles inconsistencias u omisiones, garantizando la precisión, consistencia y reproducibilidad de los datos obtenidos durante la investigación.

3.4.3 Procedimientos para recolección de datos

3.4.3.1 Adquisición del material biológico

Los insectos detritívoros *Blaptica dubia* (1800 unidades), *Tenebrio molitor* (1800 unidades) y *Zophoba morio* (1800 unidades) serán adquiridos de la empresa denominado “granjita de insectos” que se encuentra ubicado en la ciudad de Trujillo de procedencia del país

de Brasil. Los insectos detritívoros serán trasladados en recipientes plásticos (táperes) provistos de pequeños orificios que permiten una adecuada ventilación y serán colocados dentro de una caja de transporte, esto facilitará el ingreso de aire y, mantendrá a los insectos en un ambiente oscuro, condición favorable para reducir el estrés durante el traslado. Serán enviados a través de la empresa de transporte Shalom hasta la ciudad de Huancavelica en un tiempo estimado entre 2 y 3 días de transporte (Albarracín y Clavijo, 2021).

Durante el transporte, los insectos detritívoros serán acondicionados en táperes con salvado de trigo como fuente alimenticia. En el caso de *Blaptica dubia*, se incorporarán tapas de huevo para proporcionar refugio y áreas de descanso, contribuyendo a mantener condiciones adecuadas durante el traslado (Kuan, et al., 2022).

3.4.3.2 Acondicionamiento del ambiente

Para favorecer la adaptación y el desarrollo de *Blaptica dubia*, *Tenebrio molitor* y *Zophobas morio*, se implementará un ambiente controlado acorde a sus requerimientos fisiológicos. La temperatura se mantendrá entre 25 y 30 °C mediante la instalación de tres estufas de cuarzo de 2000w 4 Lados (NSB-200B1, Quartz Heater: China), con monitoreo continuo a través de un termómetro ambiental. La humedad relativa se regulará entre 40 % y 60 %. Asimismo, las ventanas se cubrirán con papel negro para restringir el ingreso de luz natural, considerando la sensibilidad de estas especies a exposiciones lumínicas prolongadas (Cabello, et al., 2023).

Para el alojamiento de los insectos se emplearán 27 cajas estelar de 55 × 35 × 45 cm, las cuales funcionarán como unidades de hábitat. En cada caja se realizarán dos orificios en la tapa para asegurar una

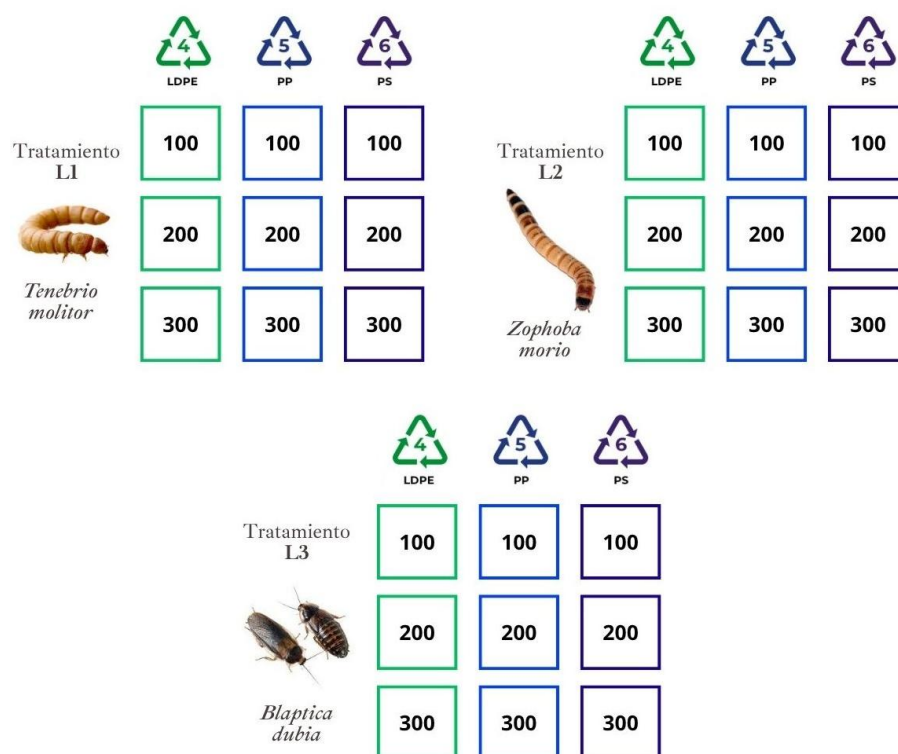
adecuada ventilación y, adicionalmente, se recubrirán externamente con plástico negro con el fin de impedir el ingreso de luz.

En el interior de cada caja se colocará avena, que cumplirá la función de sustrato y fuente alimenticia. La cantidad suministrada variará según la densidad poblacional de cada caja, aplicándose 100 g, 100 g y 200 g para densidades de 100, 200 y 300 individuos por especie de insectos, respectivamente. Asimismo, se incorporarán tapas de cartón de huevo de 5×15 cm, que servirán como refugio y áreas de descanso, permitiendo optimizar el uso del espacio tridimensional. En el caso de las larvas de *Tenebrio molitor* y *Zophobas morio*, se añadirá algodón como material para la oviposición.

Para facilitar la identificación y el control experimental, cada caja será rotulada con etiquetas que indiquen la especie y el número de individuos contenidos en la experimentación como se muestra en la (Figura 7).

Figura 7

Esquema del estudio de los insectos detritívoros



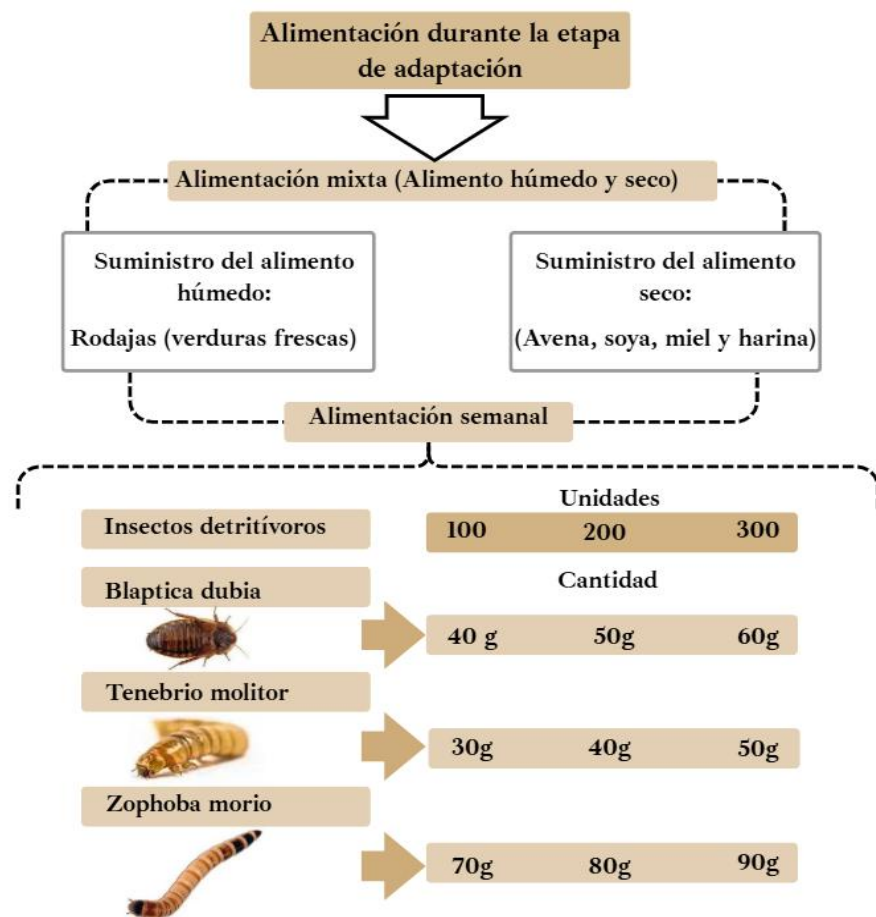
3.4.3.3 Adaptación de insectos detritívoros

Una vez concluido el acondicionamiento y definidos los tratamientos, se desarrollará una fase de adaptación para los insectos detritívoros. Su alimentación se realizará de manera controlada mediante el suministro de alimento húmedo y seco. Los alimentos húmedos (vegetales frescos), se proporcionarán en rodajas, distribuidas directamente en las cajas experimentales para facilitar su consumo para mejorar su perfil nutricional tras suplementar sus dietas con residuos vegetales (López et al., 2024). Todo el alimento será previamente pesado con el fin de estandarizar las cantidades suministradas en cada unidad experimental. La cantidad total de alimento proporcionado se establecerá en función de la densidad poblacional de cada caja y de manera inter diaria ya que estos alimentos mixtos proporcionan una

buena hidratación y como complemento se rociará agua destilada con el fin de mantener la humedad relativa de 40% y 60%. Este procedimiento se aplicará de forma uniforme a los tres insectos detritívoros, garantizando condiciones homogéneas previo al inicio de la fase experimental (Ribeiro et al., 2018), como se observa en la (Figura 8).

Figura 8

Esquema de la alimentación de los insectos detritívoros



La limpieza de las cajas experimentales se efectuará de manera semanal, en este proceso se retirarán los restos de alimento no consumido, excretas y otros desechos biológicos acumulados, a fin de mantener condiciones sanitarias adecuadas y prevenir la proliferación de microorganismos indeseables. Las actividades de limpieza se

realizarán siguiendo protocolos de bioseguridad, utilizando guantes y materiales adecuados para evitar la contaminación cruzada entre cajas experimentales. Todos los residuos sólidos generados durante la alimentación y limpieza de las cajas serán segregados y depositados en el tacho rojo para luego someterlo a un proceso de incineración, conforme a las normativas de gestión de residuos peligrosos y bioseguridad vigentes en el laboratorio.

El periodo de adaptación será de 8 semanas permitiendo la estabilización fisiológica de las larvas y la reorganización de su microbiota intestinal antes de iniciar ensayos de biodegradación, asegurando homogeneidad en las condiciones iniciales y una respuesta metabólica estable previo al inicio de la fase de exposición a los termoplásticos. (Yang et al., 2015; Brandon et al., 2018).

3.4.3.4 Control de la reproducción de los insectos detritívoros

Para garantizar la validez experimental y evitar sesgos poblacionales, se implementará un control estricto de la reproducción durante la etapa de adaptación y antes de la exposición a los termoplásticos. Asimismo, se evaluará el estado biológico y reproductivo en sus diferentes etapas de desarrollo, con el fin de obtener 1800 larvas por cada especie en condiciones controladas. Las poblaciones estarán conformadas predominantemente por larvas y ninfas, seleccionadas previamente mediante tamizado y observación directa. Se evitará la coexistencia prolongada de adultos reproductivos, especialmente en el caso de *Tenebrio molitor* y *Zophobas morio*, con el fin de reducir la oviposición durante esta etapa. En las cajas donde se identifique la presencia de pupas o adultos emergentes, estos individuos serán retirados manualmente a otras cajas, registrándose el evento, para mantener la estructura poblacional estable (Di Liberto et al., 2024). La duración de la etapa de reproducción se limitará a aproximadamente 8

semanas, periodo que favorecerá ciclos reproductivos completos en condiciones controladas.

a. *Tenebrio molitor*

En esta especie se evaluaron el tipo de desarrollo donde se consideran el desarrollo de la metamorfosis completa (huevo, larva, pupa, adulto) considerándose según lo establecido por Vommaro et al. (2024) como se detalla.

➤ **Huevos:**

Se realizará una inspección visual en los algodones colocados en las respectivas cajas para detectar la presencia de huevos. En caso de observarse, serán retirados manualmente para evitar la eclosión.

➤ **Larvas:**

Las larvas serán evaluadas mediante observaciones de movilidad, respuesta al estímulo, integridad corporal, tamaño y supervivencia.

➤ **Pupas:**

La aparición de pupas será registrada y estas serán retiradas inmediatamente para evitar la emergencia de adultos reproductivos.

➤ **Adultos:**

Los adultos emergentes no serán mantenidos en las cajas experimentales y serán retirados al momento de su detección.

b. *Zophoba morio*

Esta especie es muy sensible por lo que se evaluarán el tipo de desarrollo donde se consideraran la metamorfosis completa, con ciclo larvario prolongado. En *Zophoba morio*, el ciclo larvario es considerablemente más largo, lo que facilita el mantenimiento de larvas

activas sin inducir reproducción durante el periodo de adaptación por lo tanto se evaluarán sus etapas de desarrollo como se detalla (Urbanek et al., 2024).

➤ **Huevos:**

La oviposición ocurre únicamente en adultos, por lo que se evitará la presencia de escarabajos reproductivos.

➤ **Larvas:**

Las larvas serán monitoreadas en cuanto a crecimiento, comportamiento alimenticio y supervivencia, constituyendo la fase principal del estudio.

➤ **Pupas:**

Dado que la pupación en esta especie ocurre principalmente bajo condiciones específicas (como aislamiento), cualquier pupa detectada será retirada y registrada.

➤ **Adultos:**

Los adultos no serán incorporados al sistema experimental durante la etapa previa a la exposición a termoplásticos.

c. *Blaptica dubia*

Se evaluarán el tipo de desarrollo considerándose la metamorfosis incompleta (ooteca interna, ninfa, adulto). *Blaptica dubia* presenta una estrategia reproductiva ovovivípara, en la cual la hembra retiene la ooteca dentro de su cuerpo, por lo que no se observan huevos externos en el sustrato. Esta característica requiere un enfoque distinto de control reproductivo (Atuesta y Colorado, 2024).

➤ **Ooteca interna:**

Al no ser visibles, el control se basará en la gestión de la población adulta, evitando condiciones que favorezcan la reproducción continua.

➤ **Ninfas:**

Las ninfas serán la fase predominante, evaluándose su tamaño, movilidad, coloración y supervivencia.

➤ **Adultos:**

La presencia de adultos, especialmente hembras, será monitoreada cuidadosamente. En caso de observar nacimientos de ninfas, se registrará el evento y se realizará la redistribución o retiro de individuos para mantener la densidad estable.

3.4.3.5 *Distribución experimental*

Para poder iniciar el proceso experimental, se verificó que los organismos se encontraran en la etapa biológicamente más eficiente para el consumo de plásticos: larvas de (*Tenebrio molitor* y *Zophobas atratus*), así como ninfas de (*Blaptica dubia*). Etapa en la que presentan mayor actividad alimentaria y capacidad digestiva, factores fundamentales para la ingestión y degradación de termoplástico (Jiang et al., 2021).

La distribución se realizará de manera estructurada, de acuerdo con el siguiente orden, se dispone de 3 insectos detritívoros (*Blaptica dubia*, *Tenebrio molitor* y *Zophoba morio*) y 9 cajas experimentales por especie, totalizando 27 cajas en el experimento, las nueve cajas experimentales se distribuyen en 3 grupos correspondientes a los 3 tipos de termoplásticos con 3 cajas por cada tipo, en la densidad poblacional se tendrá 3 niveles: 100, 200 y 300 insectos detritívoros por caja totalizando 1800 insectos detritívoros por especie y 5400 insectos detritívoros en total como se detalla en la siguiente Tabla 7.

Tabla 7

Distribución de insectos detritívoros para el experimento.

Insectos detritívoros (Tratamiento)	Densidad	Tipo de plástico	# de caja estelar
L1 <i>Tenebrio molitor</i>	100	Polietileno de baja densidad (LDPE))	3
		Polipropileno (PP	
		Poliestireno expandido (EPS)	
	200	Polietileno de baja densidad (LDPE))	3
		Polipropileno (PP	
		Poliestireno expandido (EPS)	
	300	Polietileno de baja densidad (LDPE))	3
		Polipropileno (PP	
		Poliestireno expandido (EPS)	
Sub total	1800	3	9
L2 <i>Zophoba morio</i>	100	Polietileno de baja densidad (LDPE))	3
		Polipropileno (PP	
		Poliestireno expandido (EPS)	
	200	Polietileno de baja densidad (LDPE))	3
		Polipropileno (PP	
		Poliestireno expandido (EPS)	
	300	Polietileno de baja densidad (LDPE))	3
		Polipropileno (PP	
		Poliestireno expandido (EPS)	
Sub total	1800	3	9
L3 <i>Blaptica dubia</i>	100	Polietileno de baja densidad (LDPE))	3
		Polipropileno (PP	
		Poliestireno expandido (EPS)	
	200	Polietileno de baja densidad (LDPE))	3
		Polipropileno (PP	
		Poliestireno expandido (EPS)	
	300	Polietileno de baja densidad (LDPE))	3

		Polipropileno (PP)	
		Poliestireno expandido (EPS)	
Sub total	1800	3	9
Total	5400	3 tipos de plástico	27

Este esquema experimental permitirá asegurar una distribución homogénea de los insectos detritívoros, mantener la comparabilidad entre tratamientos y garantizar condiciones estandarizadas durante la etapa de adaptación previa al desarrollo de la fase experimental.

3.4.3.6 Experimentación del proceso de degradación de los termoplásticos

En esta etapa se llevará a cabo la exposición directa de los organismos experimentales a los distintos tipos de termoplásticos, bajo condiciones controladas y diferenciando los tratamientos testigo y con adición de extracto de zanahoria. Para ello, se seleccionarán individuos según su etapa de desarrollo y serán distribuidos en recipientes experimentales previamente acondicionados, asegurando uniformidad en la cantidad de organismos y en las características físicas del material plástico utilizado. Para lo cual se tendrá que estandarizar las dimensiones y el peso de cada tipo de termoplástico que se empleará, con el fin de garantizar la comparabilidad entre tratamientos y la validez del proceso experimental.

A continuación, se presenta la sistematización de la exposición experimental de los organismos a los termoplásticos (Tabla 8).

Tabla 8

Organismos experimentales y etapa de desarrollo.

Especie de insectos detritívoros	Etapas seleccionada	N^a unidades testigo	N^a unidades con extracto de zanahoria	Tiempo de aplicación
<i>Blaptica dubia</i>	Ninfa avanzada	20	20	8 semanas
<i>Tenebrio molitor</i>	Larvaria	20	20	8 semanas
<i>Zophoba morio</i>	Larvaria	20	20	8 semanas

3.4.3.7 Observación y registro del consumo del termoplástico

Durante el periodo experimental se va a realizar la observación directa del comportamiento de los organismos y el registro del consumo de los termoplásticos. La evaluación se efectuará cada siete días, durante ocho intervalos de medición, considerando el área consumida por cada unidad de plástico y el peso total correspondiente a los 20 fragmentos proporcionados por tratamiento. Las dimensiones y el peso de los fragmentos se establecerán en función de la densidad de cada tipo de termoplástico. Para el polipropileno (PP), al presentar mayor masa y menor volumen, se considerará una dimensión de 3×3 cm y un peso de 3,00 mg, a fin de no exceder el peso total correspondiente a los 20 fragmentos.

En el caso del polietileno de baja densidad (PELD), debido a su menor masa y mayor volumen, se emplearán dimensiones de 4×6 cm y un peso de 1,50 mg, con el propósito de evitar la acumulación excesiva de volumen. Para el poliestireno expandido (EPS), caracterizado por su baja masa y volumen intermedio, se utilizarán fragmentos de 4×6 cm con un peso de 3,00 mg, manteniendo así un volumen experimental adecuado. Estas especificaciones se presentan en la Tabla 9.

Tabla 9

Características del material termoplástico que será utilizado.

Tipo de termoplástico	Dimensiones	Peso general	Aplicación (4 semanas)	Aplicación (4 semanas)
Polipropileno (PP)	3x3 cm	3.00 mg	Plástico con zanahoria	Plástico sin zanahoria
Polietileno de baja densidad (PELD)	4x6 cm	1.50 mg	Plástico con zanahoria	Plástico sin zanahoria
Poliestireno expandido (EPS)	4x6 cm	3.00 mg	Plástico con zanahoria	Plástico sin zanahoria

La medición del área degradada se realizará mediante el uso calibrador digital, aplicada a las tres especies evaluadas y para ambos tratamientos (plástico testigo y plástico con extracto de zanahoria). Posteriormente a cada registro, los fragmentos del tratamiento testigo serán reubicados en sus recipientes experimentales, mientras que los plásticos del tratamiento con zanahoria serán nuevamente acondicionados mediante la aplicación del extracto, previo a su reincorporación al sistema experimental. De manera complementaria, se efectuará un registro morfológico de los termoplásticos a lo largo del proceso de investigación.

3.4.3.8 Medición y registro de datos cuantitativos

Al finalizar el periodo de exposición, se efectuará la medición del peso final de los termoplásticos con la finalidad de determinar la variación de masa asociada al consumo por parte de los organismos. Para ello, los fragmentos plásticos serán retirados de los recipientes experimentales, limpiados cuidadosamente para eliminar residuos orgánicos o humedad superficial y posteriormente pesados en una balanza de precisión, manteniendo las mismas condiciones utilizadas en la medición inicial.

La variación de masa se establecerá mediante la comparación entre el área inicial y área final de cada unidad experimental, el peso inicial y el peso final de cada correspondiente a los 20 fragmentos experimentales, considerando tanto los tratamientos testigo como aquellos con adición de extracto de zanahoria y para cada tipo de termoplástico evaluado.

Todos los datos obtenidos serán registrados de forma sistemática en matrices de control y posteriormente organizados en una hoja de cálculo en Microsoft Excel.

La base de datos incluye las variables como especie en estudio, densidad de larvas, tipo de termoplástico, peso inicial, peso final, área inicial, área final y tipo de tratamiento, con el fin de facilitar su procesamiento, análisis comparativo e interpretación estadística. Como se observa en la Figura 9.

Figura 9

Ficha de registro de base datos de la evaluación de los termoplásticos

FICHA DE REGISTRO																									
DEGRADACION DE PLASTICO ETAPA EXPERIMENTAL																									
ESPECIE EN ESTUDIO	DENSIDAD DE LARVAS	TIPOS DE PLASTICO	DIAMTER O INICIAL	P. INICIAL	T1																				
					AREA CONSUMIDO (ZANAHORIA)										AREA CONSUMIDO (TESTIGO)										AREA TOTAL T1
					P1	P2	P2	P4	P5	.	.	.	P19	P20	P1	P2	P3	P4	P5	.	.	.	P19	P20	
ZOPHOBAS	100 LARVAS	PP (J2)	3x3	3.00																					
		PE-LD (J3)	4x6	1.50																					
		EPS (J1)	4x6	3.00																					
	200 LARVAS	PP (J5)	3x3	3.00																					
		PE-LD (J6)	4x6	1.50																					
		EPS (J4)	4x6	3.00																					
	300 LARVAS	PP (J8)	3x3	3.00																					
		PE-LD (J9)	4x6	1.50																					
		EPS (J7)	4x6	3.00																					
DUBIAS	100 LARVAS	PP (J2)	3x3	3.00																					
		PE-LD (J3)	4x6	1.50																					
		EPS (J1)	4x6	3.00																					
	200 LARVAS	PP (J5)	3x3	3.00																					
		PE-LD (J6)	4x6	1.50																					
		EPS (J4)	4x6	3.00																					
	300 LARVAS	PP (J8)	3x3	3.00																					
		PE-LD (J9)	4x6	1.50																					
		EPS (J7)	4x6	3.00																					
TENEBRIOS	100 LARVAS	PP (J2)	3x3	3.00																					
		PE-LD (J3)	4x6	1.50																					
		EPS (J1)	4x6	3.00																					
	200 LARVAS	PP (J5)	3x3	3.00																					
		PE-LD (J6)	4x6	1.50																					
		EPS (J4)	4x6	3.00																					
	300 LARVAS	PP (J8)	3x3	3.00																					
		PE-LD (J9)	4x6	1.50																					
		EPS (J7)	4x6	3.00																					

3.5 Técnicas de procesamiento y análisis de datos

3.5.1 Análisis descriptivo de los datos

Los datos obtenidos durante el desarrollo de la investigación serán registrados, codificados y organizados en una base de datos utilizando Microsoft Excel para su posterior procesamiento mediante el software estadístico IBM SPSS Statistics. La información correspondiente a la biodegradación de los termoplásticos será sistematizada considerando la especie de insecto detritívoro (*Blaptica dubia*, *Tenebrio molitor* y *Zophobas morio*), la densidad de insectos y el tiempo de exposición establecidos en el diseño experimental. Los resultados serán presentados mediante tablas estadísticas, tablas de doble entrada, gráficos de barras, gráficos de líneas y figuras, con la finalidad de describir el comportamiento de las variables evaluadas, facilitar la comparación entre los tratamientos experimentales e identificar tendencias en la capacidad biodegradadora de las especies de insectos detritívoros. Asimismo, se emplearán medidas de tendencia central y de dispersión para resumir y describir el comportamiento de los datos obtenidos durante el desarrollo del experimento.

3.5.2 Análisis inferencial de los datos

El análisis inferencial se realizará con el propósito de determinar si la especie de insecto detritívoro, la densidad de insectos y el tiempo de exposición influyen significativamente en la biodegradación de los termoplásticos evaluados. Para ello, se planteará como hipótesis nula que estos factores no producen diferencias significativas en la degradación de los plásticos, mientras que la hipótesis alterna establecerá que al menos uno de estos factores influye significativamente en la variable de estudio. El procesamiento de los datos se efectuará mediante un análisis de varianza (ANOVA) factorial correspondiente a un Diseño Completamente al Azar con arreglo factorial $3 \times 3 \times 8$, utilizando un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$, equivalente a un nivel de confianza del 95 %. El análisis se desarrollará con

base en el modelo estadístico propuesto para evaluar los efectos principales de la especie de insecto detritívoro, la densidad de insectos y el tiempo de exposición, así como las interacciones existentes entre estos factores sobre la biodegradación de los termoplásticos. La decisión estadística se sustentará en el valor de probabilidad (p-valor) obtenido en el análisis de varianza; cuando dicho valor sea menor o igual a 0,05 se rechazará la hipótesis nula y se aceptará la hipótesis alterna, concluyéndose que existen diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos evaluados. Por el contrario, cuando el p-valor sea mayor a 0,05, no se rechazará la hipótesis nula, concluyéndose que los factores evaluados no producen diferencias significativas en la biodegradación de los termoplásticos bajo las condiciones experimentales establecidas. En los casos en que el análisis de varianza evidencie diferencias estadísticamente significativas, se aplicará la prueba de comparación múltiple de Tukey para identificar cuáles tratamientos presentan diferencias entre sus medias y determinar la especie de insecto detritívoro que presenta la mayor capacidad de biodegradación de los termoplásticos.

CAPÍTULO IV

ASPECTO ADMINISTRATIVO

5.1 Recurso humano

Se cuenta con el apoyo de un equipo técnico externo. De igual forma se cuenta con un asesor a dedicación exclusiva y los Tesistas.

5.2 Materiales y equipos

Se cuenta con los materiales necesarios y la logística por parte de los Tesistas lo cual contribuirá para la evaluación total de los variables en estudio y para asegurar la homogeneidad de actividades que permitan obtener resultados precisos y confiables.

Tabla 10*Características*

Materiales de laboratorio	
Algodón	Material absorbente utilizado para limpieza, desinfección y manipulación de muestras en el laboratorio.
Vaso precipitado 100 ml	Recipiente para contener, calentar, disolver o preparar muestras líquidas, sólidas o reactivas.
Papel toalla	Papel absorbente utilizado para limpieza, secado de material y control de derrames.
Bata quirúrgica descartable	Bata quirúrgica descartable utilizados para proteger al personal y evitar la contaminación de muestras.
Guantes quirúrgicos	Guantes desechables utilizados para proteger al personal y evitar la contaminación de muestras.
Mascarillas quirúrgicas	Equipo de protección que cubre nariz y boca para evitar la contaminación y proteger al usuario.
Cofias	La cofia es una prenda o gorro que se usa en la cabeza para cubrir el cabello.
Cubrecazado	Prenda que sirve para evitar llevar suciedad o microorganismos del exterior al laboratorio o viceversa.
Tachos	Contenedor que se utilizan para almacenar o desechar residuos.
Caja estelar	Caja que usa como recipiente o estructura para almacenar.
Rosador	Sirve para aplicar líquidos en forma de spray, como agua o soluciones.
Vasos de Polipropileno (PP)	Se utilizan para contener líquidos o muestras.
Bolsa de Polietileno de Baja Densidad (PELD)	Sirve para almacenar o transportar productos ligeros.
Tapetes de Polietileno Expandido (EPS)	Se usan para conservar alimentos, mantener temperatura y transportar comida.
Zanahoria	Fuente de nutrientes; puede usarse en alimentación o experimentos biológicos.
Beterraga	Se usa como alimento y también como colorante natural en experimentos.
Regla milimétrica metálica	Instrumento que se utiliza para medir con precisión longitudes pequeñas en milímetros.
Plástico	Material versátil usado para envolver, proteger o fabricar recipientes.
Cuchillo	Herramienta para cortar alimentos u otros materiales.
Miel	Endulzante natural con propiedades antimicrobianas; útil en ensayos biológicos.

Avena	Alimento nutritivo; puede servir como sustrato o alimento en experimentos.
Lechuga	Alimento fresco, también usado en estudios de nutrición o biología.
Manzana	Fruta para consumo o experimentos.
Papa	Alimento común, también usada en experimentos.
Estufas de cuarzo de 2000w 4 lados	Equipo para generar calor de forma uniforme en varias direcciones.
Balanza de precisión	Se usa para medir masa con alta exactitud como el pesaje de muestras pequeñas.
Calibrador Digital	Sirve para medir dimensiones con gran precisión longitud, diámetro, etc..
Termómetro ambiental digital	Equipo para controlar las condiciones ambientales (temperatura, humedad, etc..)
<i>Tenebrio Molitor</i>	Gusano de la harina; se usa en estudios biológicos, alimentación animal o reciclaje de residuos.
<i>Zophoba Morio</i>	Gusano utilizado en investigación, alimentación de reptiles y estudios de crecimiento.
<i>Blaptica Dubia</i>	Cucaracha dubia; usada como alimento vivo y en estudios de comportamiento o biología.

Materiales de escritorio

Papel bond A4/80gr	Papel de uso común para impresión, redacción de informes, registros y documentos
Marcadores indelebles rojo, azul, negro	Plumones de tinta permanente utilizados para etiquetar frascos, muestras y materiales de laboratorio.
Papel bond de colores A4/75gr	Papel ideal para organizar informes, resaltar documentos, realizar manualidades.
Bolígrafo color azul y negro.	Lapiceros utilizados para el registro de datos y observaciones
Cinta de embalaje	Cinta adhesiva resistente utilizada para sellar cajas, paquetes o embalajes de materiales.
Archivador	Archivador diseñado para clasificar, almacenar, proteger expedientes, papeles y carpetas colgantes.
Resaltador	Resaltador se utiliza para marcar o resaltar ideas.

Reactivos	
Agua destilada	Agua purificada utilizada para preparar soluciones, reactivos y lavar material de laboratorio.
Cal viva	Oxido de calcio que se utiliza para a desinfección de suelos.
Alcohol gel	Solución desinfectante utilizada para la higiene de manos y desinfección rápida.
Jabón líquido	Producto utilizado para la limpieza de manos y material de laboratorio.
Lejía para laboratorio	Solución desinfectante a base de hipoclorito utilizada para desinfectar superficies y materiales.
Detergente	Producto de limpieza utilizado para lavar materiales y utensilios de laboratorio.
Alcohol de 96 °	Alcohol de alta concentración utilizado para desinfección y preparación de soluciones.
Alcohol de 70°	Solución alcohólica utilizada para la desinfección de superficies, materiales y equipos de laboratorio.

Servicios especializados	
Análisis y procesador estadístico	Servicio por procesamiento estadístico.
Tabulador de base de datos	Servicio técnico para apoyo en análisis y procesamiento de datos en laboratorio.
Traductor de idioma	Servicio profesional de traducción de documentos científicos.
Redactor de artículo científico	Servicio profesional para la redacción y corrección de artículos científicos para publicación.

Otros	
Encomiendas especificar	Envío y transporte de materiales desde el lugar de ventas hacia el laboratorio de análisis.
Eventos académicos especificar	Inscripción, participación y certificación en congresos, seminarios o talleres científicos para la difusión de resultados del proyecto.
Encuadernación y empastado	Encuadernación y empastado de tesis y documentos.
Copias, fotocopias, etc.	Reproducción de documentos, fichas de campo, cuestionarios, informes parciales y finales necesarios para la ejecución y sustención del proyecto.

5.3 Cronograma de actividades

COMPONENTES Y ACTIVIDADES	2026					2027									
	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	
COMPONENTE 1: Adquisición de material biológico															
A1: Compra de insectos detritívoros <i>Blaptica dubia</i>		X	X												
A2: Compra de insectos detritívoros <i>Tenebrio molitor</i>		X	X												
A3: Compra de insectos detritívoros <i>Zophoba morio</i>		X	X												
COMPONENTE 2: Acondicionamiento del ambiente															
A1: Adecuación de condiciones ambientales	X														
A2: Acondicionamiento lumínico del ambiente	X														
A3: Acondicionamiento de cajas estelar (55 × 35 × 45 cm)	X														
COMPONENTE 3: Adaptación de insectos detritívoros															
A1: Manejo y estandarización de la alimentación			X	X											
A2: Adaptación a condiciones ambientales			X	X											
A3: Mantenimiento sanitario y gestión de residuos sólidos			X	X											
COMPONENTE 4: Control de la reproducción de los insectos detritívoros															
A1: Evaluación del estado biológico y reproductivo de <i>Blaptica dubia</i>					X	X									
A2: Evaluación del estado biológico y reproductivo de <i>Tenebrio molitor</i>					X	X									
A3: Evaluación del estado biológico y reproductivo de <i>Zophoba morio</i>					X	X									

COMPONENTE 5: Distribución Experimental					
A1: Distribución de <i>Blaptica dubia</i> según su estado biológico, densidad y termoplásticos	X	X			
A2: Distribución de <i>Tenebrio molitor</i> según su estado biológico, densidad y termoplásticos	X	X			
A3: Distribución de <i>Zophoba morio</i> según su estado biológico, densidad y termoplásticos	X	X			
COMPONENTE 6: Degradación del termoplástico					
A1: Degradación de polipropileno (PP), poliestireno expandido (EPS) y polietileno de baja densidad (LDPE) por <i>Blaptica dubia</i>		X	X	X	
A2: Degradación de polipropileno (PP), poliestireno expandido (EPS) y polietileno de baja densidad (LDPE) por <i>Tenebrio molitor</i>		X	X	X	
A3: Degradación de polipropileno (PP), poliestireno expandido (EPS) y polietileno de baja densidad (LDPE) por <i>Zophoba morio</i>		X	X	X	
COMPONENTE 7: Medición y registro de datos cuantitativos					
A1: Pérdida de masa absoluta y porcentaje de degradación de los termoplásticos por <i>Blaptica dubia</i>		X	X	X	X
A2: Pérdida de masa absoluta y porcentaje de degradación de los termoplásticos por <i>Tenebrio molitor</i>		X	X	X	X
A3: Pérdida de masa absoluta y porcentaje de degradación de los termoplásticos por <i>Zophoba morio</i>		X	X	X	X
COMPONENTE 8: ACTIVIDADES ADMINISTRATIVAS					
Redacción de informe final (gabinete)				X	X
Elaboración y envío del artículo científico					X
Participación en ferias científicas				X	
Presentación de informe final					X

5.4 Presupuesto

CLASIFICADOR	DESCRIPCIÓN	UNID. MED.	CANT.	PRECIO UNIT.	2026												2027					SUB TOTAL	% DISTR. PRES	
					S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O						
I. MATERIALES DE LABORATORIO																								
2.3.1.8.2.1	Algodón de 500 g	Material absorbente utilizado para limpieza, desinfección y manipulación de muestras en el laboratorio.	kg	4	18	X																	72	
2.3.1.8.2.1	Vaso precipitado 100 ml	Recipiente para contener, calentar, disolver o preparar muestras líquidas, solidas o reactivas.	UND	2	15				X	X													30	
2.3.1.8.2.1	Papel toalla x 100 hojas	Papel absorbente utilizado para limpieza, secado de material y control de derrames.	BOLSA	4	8	X																	32	
2.3.1.8.2.1	Bata quirúrgica descartable	Bata quirúrgica descartable utilizados para proteger al personal y evitar la contaminación de muestras.	UND	8	30		X																240	
2.3.1.8.2.1	Guantes quirúrgicos talla M y L (100 UND)	Guantes desechables utilizados para proteger al personal y evitar la contaminación de muestras.	CAJA	8	25		X																200	
2.3.1.8.2.1	Mascarillas quirúrgicas	Equipo de protección que cubre nariz y boca para evitar la contaminación y proteger al usuario.	CAJA	3	25		X																75	
2.3.1.8.2.1	Cofias (100 UND)	La cofia es una prenda o gorro que se usa en la cabeza para cubrir el cabello.	CAJA	6	25		X																150	5223
2.3.1.8.2.1	Cubrecalzado (50 PARES)	Prenda que sirve para evitar llevar suciedad o microorganismos del exterior al laboratorio o viceversa.	CAJA	8	25		X																200	
2.3.1.8.2.1	Tachos	Contenedor que se utilizan para almacenar o desechar residuos.	UND	2	7		X																14	
2.3.1.8.2.1	Caja estelar	Caja que usa como recipiente o estructura para almacenar.	UND	27	33		X																891	
2.3.1.8.2.1	Roseador	Sirve para aplicar líquidos en forma de spray, como agua o soluciones.	UND	2	3		X																6	
2.3.1.8.2.1	Vasos de Polipropileno (PP)	Se utilizan para contener líquidos o muestras.	PAQUETE	4	4						X	X	X										16	
2.3.1.8.2.1	Bolsa de Polietileno de	Sirve para almacenar o transportar productos ligeros.	PAQUETE	2	5						X	X	X										10	

[illegible]

2.3.1.8.2.1	<i>Zophoba Morio</i>	Gusano utilizado en investigación, alimentación de reptiles y estudios de crecimiento.	MILLAR	2	200	X	X										400
2.3.1.8.2.1	<i>Blaptica Dubia</i>	Cucaracha dubia; usada como alimento vivo y en estudios de comportamiento o biología.	MILLAR	2	400	X	X										800
II. MATERIALES DE ESCRITORIO																	
2.3.15.12	Papel bond A4/80gr	Papel de uso común para impresión, redacción de informes, registros y documentos	MILLAR	1	20	X	X										20
2.3.15.12	Marcadores indelebles rojo, azul, negro	Plumones de tinta permanente utilizados para etiquetar frascos, muestras y materiales de laboratorio.	UND	9	4	X	X										36
2.3.15.12	Papel bond de colores A4/75gr	Papel ideal para organizar informes, resaltar documentos, realizar manualidades.	CIENTO	1	12	X	X										12
2.3.15.12	Bolígrafo color azul y negro.	Lapiceros utilizados para el registro de datos y observaciones	CAJA	1	25	X	X										25
2.3.15.12	Cinta de embalaje	Cinta adhesiva resistente utilizada para sellar cajas, paquetes o embalajes de materiales.	DOCENA	2	36	X	X										72
2.3.15.12	Archivador	Archivador diseñado para clasificar, almacenar, proteger expedientes, papeles y carpetas colgantes.	UNIDAD	2	10	X	X										20
2.3.15.12	Resaltador	Resaltador se utiliza para marcar o resaltar ideas.	DOCENA	2	35	X	X										70
III. REACTIVOS																	
2.3.199.12	Agua destilada X 20LITROS	Agua purificada utilizada para preparar soluciones, reactivos y lavar material de laboratorio.	GALONES	5	25	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		125
2.3.199.12	Cal viva	Oxido de calcio que se utiliza para la desinfección de suelos.	KG	2	12	X	X										24
2.3.199.12	Alcohol gel x 1000ml	Solución desinfectante utilizada para la higiene de manos y desinfección rápida.	DOCENA	1	50	X	X										50
2.3.15.31	Jabón líquido x1000ml	Producto utilizado para la limpieza de manos y material de laboratorio.	DOCENA	1	50	X	X										50
2.3.15.31	Lejía para laboratorio 4LITROS	Solución desinfectante a base de hipoclorito utilizada para desinfectar superficies y materiales.	GALONES	4	12	X	X										48
2.3.15.31	Detergente	Producto de limpieza utilizado para lavar materiales y utensilios de laboratorio.	KG	5	10	X	X										50

2.3.199.12	Alcohol de 96 °	Alcohol de alta concentración utilizado para desinfección y preparación de soluciones.	DOCENA	1	60	X	X											60			
2.3.199.12	Alcohol de 70°	Solución alcohólica utilizada para la desinfección de superficies, materiales y equipos de laboratorio.	DOCENA	1	60	X	X											60			
IV. SERVICIOS ESPECIALIZADOS																					
2.3.2.7.14.98	Análisis y procesador estadístico	Servicio por procesamiento estadístico.	SERVICIO	1	500			X	X	X	X							500			
2.3.2.7.14.98	Tabulador de base de datos	Servicio técnico para apoyo en análisis y procesamiento de datos en laboratorio.	SERVICIO	1	1000			X	X	X								1000			
2.3.2.7.14.98	Traductor de idioma	Servicio profesional de traducción de documentos científicos.	SERVICIO	1	300									X	X			300	3000	30%	
2.3.2.7.14.98	Redactor de artículo científico	Servicio profesional para la redacción y corrección de artículos científicos para publicación.	SERVICIO	1	1200									X	X			1200			
V. OTROS GASTOS																					
2.6.7.1.4.3	Encomiendas especificar	Envío y transporte de materiales desde el lugar de ventas hacia el laboratorio de análisis.	GLOBAL	1	75		X	X										75			
2.6.7.1.4.3	Eventos académicos especificar	Inscripción, participación y certificación en congresos, seminarios o talleres científicos para la difusión de resultados del proyecto.	GLOBAL	1	770										X			770			
2.3.2.7.14.98	Encuadernación y empastado	Encuadernación y empastado de tesis y documentos.	UND	4	30											X			1055	10.55%	
2.3.2.7.14.98	Copias, fotocopias, etc.	Reproducción de documentos, fichas de campo, cuestionarios, informes parciales y finales necesarios para la ejecución y sustención del proyecto.	GLOBAL	1	90	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X				
Total S/.																		10000	10000	100	

5.5 Financiamiento

El presente proyecto será financiado por los recursos de VRI (Vicerrectorado de Investigación) mediante la subvención económica a graduados y estudiantes de pregrado para el desarrollo de proyectos de tesis 2026 de la Universidad Nacional de Huancavelica.

Referencias

- Adhikary, S. K., & Ashish, D. K. (2022). Turning waste expanded polystyrene into lightweight aggregate: Towards sustainable construction industry. *Science of the Total Environment*, 837, 155852. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155852>
- Albarracín Liendo, R. L., & Clavijo Koc, C. V. (2021). Condiciones ambientales y biológicas del *Tenebrio molitor* en la degradación del poliestireno. *Ingeniería Investiga*, 3(2), 53–61. <https://doi.org/10.47796/ing.v3i2.531>
- Ali, S. S., Elsamahy, T., Koutra, E., Kornaros, M., El-Sheekh, M., Abdelkarim, E. A., Zhu, D., & Sun, J. (2021). Degradation of conventional plastic wastes in the environment: A review on current status of knowledge and future perspectives of disposal. *Science of the Total Environment*, 771, 144719. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144719>
- Álvarez, D. N., & Botache, L. M. (2020). *Biodegradación de plástico con larvas del coleóptero Tenebrio molitor como un aporte interdisciplinar a la biotecnología ambiental* [Tesis de pregrado, Universidad Pedagógica Nacional]. Repositorio Institucional de la Universidad Pedagógica Nacional. <http://hdl.handle.net/20.500.12209/12205>
- Amaral-Zettler, L. A., Zettler, E. R., & Mincer, T. J. (2020). Ecology of the plastisphere. *Nature Reviews Microbiology*, 18(3), 139–151. <https://doi.org/10.1038/s41579-019-0308-0>
- Arela, M. C., Masco, F. S., Churac, R. A. C., Huamán, M. A. M., & Paucar, M. A. C. (2020). Biodegradación de polímeros de plástico por *Pseudomonas*. *Revista de Investigación Ciencia, Tecnología y Desarrollo*, 6(2), 46–59. <https://doi.org/10.17162/rictd.v6i2.1457>

- Atuesta, A. J. R., & Colorado, N. R. (2024). *Generalidades de la Blaptica dubia*. ResearchGate. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.10907.78888>
- Blanco, L., & Catarí, E. (2024). Polímero termoplástico: Polipropileno. *Ciencia en Revolución*, 9(26), 476–509. <https://cienciaenrevolucion.com.ve/index.php/cienciaenrevolucion/article/view/87>
- Boctor, J., Pandey, G., Xu, W., Murphy, D. V., & Hoyle, F. C. (2024). Nature's plastic predators: A comprehensive and bibliometric review of plastivore insects. *Polymers*, 16(12), 1671. <https://doi.org/10.3390/polym16121671>
- Brandon, A. M., Gao, S.-H., Tian, R., Ning, D., Yang, S.-S., Zhou, J., Wu, W.-M., & Criddle, C. S. (2018). Biodegradation of polyethylene and plastic mixtures in mealworms (larvae of *Tenebrio molitor*) and effects on the gut microbiome. *Environmental Science & Technology*, 52(11), 6526–6533. <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b02301>
- Bulak, P., Proc, K., Pytlak, A., Bieganski, A., & Jaworska, M. (2021). Biodegradation of different types of plastics by *Tenebrio molitor* insect. *Polymers*, 13(20), 3508. <https://doi.org/10.3390/polym13203508>
- Cabello-Torres, R. J., Lindo, M. M. B., Estrada, S. G., & Ramírez, J. P. (2023). Biomechanical recycling of plastic waste using *Tenebrio molitor* larvae. *Chemical Engineering Transactions*, 102, 319–324. <https://doi.org/10.3303/CET23102054>
- Caruajulca Marín, L. M., & Huamán Ventura, K. Y. (2024). *Degradación de poliestireno expandido por bacterias cultivables asociadas al intestino de larvas de Tenebrio molitor* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo]. <https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/13255>

- Castro, K. I., & Muñoz, A. M. E. (2023). *Biodegradación con larvas de Zophobas morio en residuos de poliuretano y polipropileno* [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/132142>
- Chamas, A., Moon, H., Zheng, J., Qiu, Y., Tabassum, T., Jang, J. H., & Abu-Omar, M. M. (2020). Degradation rates of plastics in the environment. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 8(9), 3494–3511. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.9b06635>
- Chelomin, V. P., Dovzhenko, N. V., Slobodskova, V. V., & others. (2023). Expanded polystyrene-debris-induced genotoxic effect in littoral organisms. *Toxics*, 11(9), 781. <https://doi.org/10.3390/toxics11090781>
- Choy, C. A., Robison, B. H., Gagne, T. O., et al. (2019). The vertical distribution and biological transport of marine microplastics. *Scientific Reports*, 9(1), 7843. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-44117-2>
- Clere, I. K., Ahmmed, F., Remoto, P. I. J. G., et al. (2022). Quantification and characterization of microplastics in commercial fish. *Marine Pollution Bulletin*, 184, 114121. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.114121>
- Conforme-García, M. M., Dávila-Ulloa, M., Sarango-Ordóñez, J. P., & Medina-Gahona, G. A. (2024). Estrategias de biotecnología verde. *Código Científico Revista de Investigación*, 5(E3), 119–144. <https://doi.org/10.55813/gaea/ccri/v5/nE3/313>
- Darwin, C. (1859). *On the origin of species by means of natural selection*. John Murray.
- Di Liberto, E. A., Battaglia, G., Pellerito, R., & others. (2024). Biodegradation of polystyrene by larvae. *Polymers*, 16(10), 1404. <https://doi.org/10.3390/polym16101404>

- Douglas, A. (2022). Frontmatter. In *Insects and Their Beneficial Microbes* (pp. i-iv). Princeton: Princeton University Press.
<https://doi.org/10.1515/9780691236230-fm>
- Fix, G. M., Kim, B., Ruben, M., & McCullough, M. B. (2022). Direct observation methods. *PEC Innovation*, 1, 100036.
<https://doi.org/10.1016/j.pecinn.2022.100036>
- Folke, C., Polasky, S., Rockström, J., et al. (2021). Our future in the Anthropocene biosphere. *Ambio*, 50, 834–869. <https://doi.org/10.1007/s13280-021-01544-8>
- Folkman, J. (1995). Angiogenesis in cancer. *Nature Medicine*, 1(1), 27–30.
<https://doi.org/10.1038/nm0195-27>
- Fossi, M. C., Coppola, D., Baini, M., et al. (2014). Marine organisms as indicators of microplastic pollution. *Marine Environmental Research*, 100, 17–24.
<https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2014.02.002>
- Galloway, T. S., Cole, M., & Lewis, C. (2017). Interactions of microplastic debris within marine ecosystems. *Nature Ecology & Evolution*, 1(5), 116.
<https://doi.org/10.1038/s41559-017-0116>
- Gates, E. G., & Crook, N. (2024). The biochemical mechanisms of plastic biodegradation. *FEMS microbiology reviews*, 48(6), fuae027.
<https://doi.org/10.1093/femsre/fuae027>
- Gautam, A. M., & Caetano, N. (2017). Sustainable alternatives to plastic. *Energy Procedia*, 136, 507–512. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.10.273>
- Giorgetti, L., Spanò, C., Muccifora, S., et al. (2020). Exploring the interaction between polystyrene nanoplastics and *Allium cepa*. *Plant Physiology and Biochemistry*, 149, 170–177. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.02.014>

- Govind, A., & Nishitha, K. (2023). Plastic and its side effects on humans: A review article. *Asian Pacific Journal of Environment and Cancer*, 6(1), 81–85.
<https://doi.org/10.31557/apjec.2023.6.1.81-85>
- Hernández-Sampieri, R., & Mendoza, C. (2018). Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta. McGraw-Hill Education.
<https://doi.org/10.22201/fesc.20072236e.2019.10.18.6>
- Hoyos Ruiz, L. J. (2024). *Aplicación de Tenebrio molitor (Coleoptera: Tenebrionidae) como herramienta biodegradadora de polímeros en condiciones de laboratorio* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Jaén].
<http://repositorio.unj.edu.pe/handle/UNJ/727>
- Hong, J., Han, T., & Kim, Y. Y. (2020). Mealworm (*Tenebrio molitor*) as an alternative protein source. *Animals*, 10(11), 2068.
<https://doi.org/10.3390/ani10112068>
- Hu, B., Wang, S., Yan, J., Zhang, H., Qiu, L., Liu, W., & others. (2024). Review of waste plastics treatment and utilization: Efficient conversion and high value utilization. *Process Safety and Environmental Protection*, 183, 378–398.
<https://doi.org/10.1016/j.psep.2024.01.024>
- IndexBox. (2024a). *World polystyrene resins market: Analysis, forecast, size, trends and insights*.
- IndexBox. (2024b). *World plastic containers market: Analysis, forecast, size, trends and insights*.
- IndexBox. (2024c). *World thermoplastic polymers market: Analysis, forecast, size, trends and insights*.

- Ivar do Sul, J. A., Costa, M. F., & Fillmann, G. (2014). Microplastics in the pelagic environment around oceanic islands. *Water, Air, & Soil Pollution*, 225(7), 2004. <https://doi.org/10.1007/s11270-014-2004-z>
- Jambeck, J. R., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, T. R., Perryman, M., Andrady, A., Narayan, R., & Law, K. L. (2015). Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science*, 347(6223), 768–771. <https://doi.org/10.1126/science.1260352>
- Jiang, S., Su, T., Zhao, J., & Wang, Z. (2021). Biodegradation of polystyrene by insect larvae. *Polymers*, 13(20), 3539. <https://doi.org/10.3390/polym13203539>
- Jiang, X., Chen, H., Liao, Y., Ye, Z., Li, M., & Klobučar, G. (2019). Ecotoxicity and genotoxicity of polystyrene microplastics on higher plant *Vicia faba*. *Environmental Pollution*, 250, 831–838. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.04.055>
- Kalčíková, G., Žgajnar Gotvajn, A., Kladnik, A., & Jemec, A. (2017). Impact of polyethylene microbeads. *Environmental Pollution*, 230, 1108–1115. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.07.050>
- Khan, S., Dong, Y., Nadir, S., et al. (2021). Valorizing plastic waste by insect consumption. *Circular Agricultural Systems*, 1(1), 1–9. <https://doi.org/10.48130/cas-2021-0007>
- Khruengsai, S., Sripahco, T., & Pripdeevech, P. (2023). Microbial degradation of low-density polyethylene by *Neopestalotiopsis phangngaensis*. *Journal of General and Applied Microbiology*, 68(6), 287–294. <https://doi.org/10.2323/jgam.2022.07.001>
- Kuan, Z.-J., Chan, B. K.-N., & Gan, S. K.-E. (2022). Worming the circular economy for biowaste and plastics: *Hermetia illucens*, *Tenebrio molitor*, and *Zophobas morio*. *Sustainability*, 14(3), 1594. <https://doi.org/10.3390/su14031594>

- Kumar, M., Sun, Y., Rathour, R., et al. (2020). Algae as potential feedstock. *Science of the Total Environment*, 716, 137116. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137116>
- Lei, L., Wu, S., Lu, S., Liu, M., Song, Y., & Jin, T. (2018). Microplastic particles cause intestinal damage. *Science of the Total Environment*, 619–620, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.11.103>
- LeMoine, C. M., Grove, H. C., Smith, C. M., & Cassone, B. J. (2020). A very hungry caterpillar: Polyethylene metabolism and lipid homeostasis in larvae of the greater wax moth (*Galleria mellonella*). *Environmental Science & Technology*, 54(22), 14706–14715. <https://doi.org/10.1021/acs.est.0c04386>
- Leyva López, N. E. (2024). *Biodegradación del tereftalato de polietileno y de poliestireno mediante el líquido ruminal vacuno y el gusano de la harina (Tenebrio molitor)* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Cajamarca. <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/7455>
- Li, M. X., Yang, S. S., Ding, J., Ding, M. Q., He, L., Xing, D. F., Criddle, C. S., Benbow, M. E., Ren, N. Q., & Wu, W. M. (2024). *Blaptica dubia* biodegrades polystyrene plastics: Insights for superior ability, microbiome and host genes. *Journal of Hazardous Materials*, 479, 135756. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2024.135756>
- Li, Z., Li, Q., Li, R., Zhou, J., & Wang, G. (2021). The distribution and impact of polystyrene nanoplastics on cucumber plants. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(13), 16042–16053. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-11702-2>
- Liu, J., Liu, J., Xu, B., et al. (2022). Biodegradation of polyurethane foam. *Chemosphere*, 304, 135263. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.135263>

- Liu, Y. N., Bairoliya, S., Zaiden, N., & Cao, B. (2024). Establishment of plastic-associated microbial community from superworm gut microbiome. *Environment International*, 183, 108349. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2023.108349>
- López-Gámez, G., del Pino-García, R., López-Bascón, M. A., & Verardo, V. (2024). Mejora del crecimiento y el valor nutricional de *Tenebrio molitor* mediante la suplementación con residuos vegetales. *Foods*, 13(4), 594. <https://doi.org/10.3390/foods13040594>
- Luo, H., Tyrrell, H., Bai, J., Muazu, R. I., & Long, X. (2024). Fundamental, technical and environmental overviews of plastic chemical recycling. *Green Chemistry*, 26(23), 11444–11467. <https://doi.org/10.1039/D4GC03127J>
- Luo, L., Wang, Y., Guo, H., Yang, Y., Qi, N., Zhao, X., Gao, S., & Zhou, A. (2021). Biodegradation of foam plastics by *Zophobas atratus* larvae (Coleoptera: Tenebrionidae) associated with changes of gut digestive enzyme activities and microbiome. *Chemosphere*, 282, 131006. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.131006>
- Machona, O., Chidzwondo, F., & Mangoyi, R. (2022). *Tenebrio molitor*: Possible source of bacteria. *BMC Biotechnology*, 22(2), 2. <https://doi.org/10.1186/s12896-021-00733-3>
- Medina, M., Rojas, R., Bustamante, W., Loaiza, R., Martel, C., & Castillo, R. (2023). *Metodología de la investigación: Técnicas e instrumentos de investigación*. Instituto Universitario de Innovación Ciencia y Tecnología INUDI Perú. <https://doi.org/10.35622/inudi.b.080>
- Naidu, S. A., Ranga Rao, V., & Ramu, K. (2018). Microplastics in the benthic invertebrates from the coastal waters of Kochi, Southeastern Arabian Sea. *Environmental Geochemistry and Health*, 40(4), 1377–1383. <https://doi.org/10.1007/s10653-017-0062-z>

- Nizzetto, L., Langaas, S., & Futter, M. (2016). Do microplastics spill onto farm soils? *Nature*, 537(7621), 488. <https://doi.org/10.1038/537488b>
- Oceana Perú. (s. f.). *Contaminación por plásticos*. <https://peru.oceana.org/campanas/contaminacion-por-plasticos>
- Okolie, O., Kumar, A., Edwards, C., Lawton, L. A., Oke, A., McDonald, S., Thakur, V. K., & Njuguna, J. (2023). Bio-based sustainable polymers and materials: From processing to biodegradation. *Journal of Composites Science*, 7(6), 213. <https://doi.org/10.3390/jcs7060213>
- Olivas Gómez, J. A. (2025). *Evaluación de la eficiencia degradativa de las larvas de Zophobas morio en la biodegradación del poliestireno, Huánuco, 2024* [Tesis de pregrado, Universidad de Huánuco]. Repositorio Institucional UDH. <https://repositorio.udh.edu.pe/20.500.14257/6661>
- Peng, B. Y., Su, Y., Chen, Z., Chen, J., Zhou, X., Benbow, M. E., Criddle, C. S., Wu, W. M., & Zhang, Y. (2019). Biodegradation of polystyrene by dark (*Tenebrio obscurus*) and yellow (*Tenebrio molitor*) mealworms (Coleoptera: Tenebrionidae). *Environmental Science & Technology*, 53(9), 5256–5265. <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b06963>
- Plastics Europe. (2022). *Plastics – the facts 2020*. <https://plasticseurope.org/knowledge-hub/plastics-the-facts-2020/>
- Przemieniecki, S. W., Kosewska, A., Ciesielski, S., & Kosewska, O. (2020). Changes in gut microbiome. *Environmental Pollution*, 256, 113265. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113265>
- Raviolo, A., Carabelli, P., & Ekkert, T. (2022). Aprendizaje del concepto de densidad: la comprensión de las relaciones entre las variables. *Latin American Journal of Physics Education*, 16(2), 2310–2310-9. <http://www.lajpe.org>

- Rodrigues, M. O., Abrantes, N., Gonçalves, F. J. M., Nogueira, H., Marques, J. C., & Gonçalves, A. M. M. (2019). Impacts of plastic products used in daily life on the environment and human health: What is known? *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 72, 103239. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2019.103239>
- Rodríguez-Carreón, A., Ortiz-Rivera, Y., Hernández-Peña, C. C., & Figueroa, C. (2021). Biodegradación de espumas plásticas por larvas de insectos: ¿Una estrategia sustentable? *TIP. Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 24, e311. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2021.311>
- Ribeiro, N., Abelho, M., & Costa, R. (2018). Mass rearing of *Tenebrio molitor*. *Journal of Entomological Science*, 53(4), 434–454. <https://doi.org/10.18474/JES17-67.1>
- Sangiorgio, P., Verardi, A., Di Matteo, S., Spagnoletta, A., Moliterni, S., & Errico, S. (2021). *Tenebrio molitor* in the circular economy: A novel approach for plastic valorisation and PHA biological recovery. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(38), 52689–52701. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-15944-6>
- Sauer, K., Stoodley, P., Goeres, D. M., Hall-Stoodley, L., Burmølle, M., Stewart, P. S., & Bjarnsholt, T. (2022). The biofilm life cycle: expanding the conceptual model of biofilm formation. *Nature reviews. Microbiology*, 20(10), 608–620. <https://doi.org/10.1038/s41579-022-00767-0>
- Shareefdeen, Z., & ElGazar, A. T. (2024). Management of plastic wastes through recent advanced pyrolysis processes. *Applied Sciences*, 14(14), 6156. <https://doi.org/10.3390/app14146156>
- Siddiqui, J. A., Khan, M. M., Bamisile, B. S., Hafeez, M., Qasim, M., Rasheed, M. T., Rasheed, M. A., Ahmad, S., Shahid, M. I., & Xu, Y. (2022). Role of Insect

- Gut Microbiota in Pesticide Degradation: A Review. *Frontiers in microbiology*, 13, 870462. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.870462>
- Siddiqui, S. A., Abd Manap, A. S., Kolobe, S. D., & others. (2024). Insects for plastic biodegradation. *Process Safety and Environmental Protection*, 186, 833–849. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2024.04.021>
- Singh, N., Singhanian, R. R., Nigam, P. S., Dong, C. D., Patel, A. K., & Puri, M. (2022). Global status of lignocellulosic biorefinery: Challenges and perspectives. *Bioresource technology*, 344(Pt B), 126415. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.126415>
- Sun, J., Prabhu, A., Aroney, S. T. N., & Rinke, C. (2022). Insights into plastic biodegradation: community composition and functional capabilities of the superworm (*Zophobas morio*) microbiome in styrofoam feeding trials. *Microbial Genomics*, 8(6), mgen000842. <https://doi.org/10.1099/mgen.0.000842>
- Thomas, P. J., Perono, G., Tommasi, F., Pagano, G., Oral, R., Burić, P., Kovačić, I., Toscanesi, M., Trifuoggi, M., & Lyons, D. M. (2021). Resolving the effects of environmental micro- and nanoplastics exposure in biota: A knowledge gap analysis. *Science of the Total Environment*, 780, 146534. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146534>
- Thompson, R. C., Moore, C. J., vom Saal, F. S., & Swan, S. H. (2009). Plastics and human health. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 364(1526), 2153–2166. <https://doi.org/10.1098/rstb.2009.0053>
- Tsochatzis, E. D., Berggreen, I. E., Nørgaard, J. V., Theodoridis, G., & Dalsgaard, T. K. (2021). Biodegradation of expanded polystyrene by mealworm larvae under different feeding strategies evaluated by metabolic profiling using GC-TOF-MS. *Chemosphere*, 281, 130840. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.130840>

- Úbeda, J. M., & Maes, J. M. (2021). *Manual del manejo y crianza de Zophobas sp.* Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua (UNAN-Managua). <https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/87615928/233-Manual-Zophbas-libre.pdf>
- Urbanek, A. K., Rybak, J., Hanus-Lorenz, B., Komisarczyk, D. A., & Mirończuk, A. M. (2024). *Zophobas morio* versus *Tenebrio molitor*: Diversity in gut microbiota of larvae fed with polymers. *Science of the Total Environment*, 952, 176005. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.176005>
- Urbanek, A. K., Rybak, J., Hanus-Lorenz, B., Wróblewska, A., & Kamiński, M. (2024). Gut microbiota diversity. *Science of the Total Environment*, 952, 176005. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.176005>
- Staudinger, H. (1920). Über Polymerisation. *Berichte der Deutschen Chemischen Gesellschaft*, 53(6), 1073–1085. <https://doi.org/10.1002/cber.19200530627>
- Verma, R., Vinoda, K. S., Papireddy, M., & Gowda, A. N. S. (2016). Toxic pollutants from plastic waste—A review. *Procedia Environmental Sciences*, 35, 701–708. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2016.07.069>
- Vishnu Murthy, J. S., Keerthana, A., Logeswaran, K., & others. (2024). Insect-mediated plastic biodegradation. *Journal of Environmental Management*, 372, 123038. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.123038>
- Vital-Vilchis, I., & Karunakaran, E. (2025). Using insect larvae and their microbiota for plastic degradation. *Insects*, 16(2), 165. <https://doi.org/10.3390/insects16020165>
- Vizcaino Zúñiga, P. I., Cedeño Cedeño, R. J., & Maldonado Palacios, I. A. (2023). Metodología de la investigación científica: guía práctica. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(4), 9723–9762. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i4.7658

- Voća, N., Gašparić, K., Karažija, T., Peter, A., Brandić, I., Harcet, M., & Šurić, J. (2026). *Blatticomposting as a novel approach for slaughterhouse waste bioconversion with cockroaches* [Preprint]. Preprints.org. <https://doi.org/10.20944/preprints202602.0011>
- Vommaro, M. L., Donato, S., Caputo, S., Agostino, R. G., Montali, A., Tettamanti, G., & Giglio, A. (2024). Anatomical changes of *Tenebrio molitor* and *Tribolium castaneum* during complete metamorphosis. *Cell and Tissue Research*, 396(1), 19–40. <https://doi.org/10.1007/s00441-024-03877-8>
- Woo, S., Song, I., & Cha, H. J. (2020). Fast and facile biodegradation of polystyrene by the gut microbial flora of *Plesiophthalmus davidis* larvae. *Applied and Environmental Microbiology*, 86(18), e01361-20. <https://doi.org/10.1128/AEM.01361-20>
- Wu, H., Hu, X. P., & Appel, A. G. (2017). Temperature-dependent development. *Journal of Economic Entomology*, 110(2), 546–551. <https://doi.org/10.1093/jee/tow278>
- Wu, P., Huang, J., Zheng, Y., & others. (2019). Environmental impacts of microplastics. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 184, 109612. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.109612>
- Wu, W. M., & Criddle, C. S. (2021). Characterization of biodegradation of plastics in insect larvae. *Methods in Enzymology*, 648, 95–120. <https://doi.org/10.1016/bs.mie.2020.12.029>
- Xu, Z., Wu, X., Zhang, J., Cheng, P., Sun, W., Zhong, Y., Wang, Y., Yu, G., & Liu, H. (2023). Microplastics existence intensified bloom of antibiotic resistance in livestock feces transformed by black soldier fly. *Environmental Pollution*, 317, 120845. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.120845>

- Yang, C., & Gao, X. (2022). Impact of microplastics from polyethylene and biodegradable mulch films on rice (*Oryza sativa* L.). *Science of the Total Environment*, 828, 154579. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154579>
- Yang, L., Gao, J., Liu, Y., Zhuang, G., Peng, X., Wu, W. M., & Zhuang, X. (2021). Biodegradation of expanded polystyrene and low-density polyethylene foams in larvae of *Tenebrio molitor* Linnaeus (Coleoptera: Tenebrionidae): Broad versus limited depolymerization and microbe-dependence versus independence. *Chemosphere*, 262, 127818. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127818>
- Yang, S. S., Brandon, A. M., Flanagan, J. C. A., Yang, J., Ning, D., Cai, S. Y., Fan, H. Q., Wang, Z. Y., Ren, J., Benbow, M. E., Ren, N. Q., Waymouth, R. M., Zhou, J., Criddle, C. S., & Wu, W. M. (2018). Biodegradation of polystyrene wastes in yellow mealworms (*Tenebrio molitor* Linnaeus): Factors affecting biodegradation rates and the ability of polystyrene-fed larvae to complete their life cycle. *Chemosphere*, 191, 979–989. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.10.117>
- Yang, S., Wu, W., Bertocchini, F., Benbow, M. E., Devipriya, S. P., Cha, H. J., Peng, B., Ding, M., He, L., Li, M., Cui, C., Shi, S., Sun, H., Pang, J., He, D., Zhang, Y., Yang, J., Hou, D., Xing, D., & others. (2024). Radical innovation breakthroughs of biodegradation of plastics by insects: History, present and future perspectives. *Frontiers of Environmental Science & Engineering*, 18(6). <https://doi.org/10.1007/s11783-024-1838-x>
- Yang, Y., Jalalah, M., Alsareii, S. A., Harraz, F. A., Thakur, N., Zheng, Y., & others. (2024). Plastic wastes (PWs) and microplastics (MPs) formation: Management, migration, and environmental impact. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 12(3), 112926. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2024.112926>

- Yang, Y., Wang, J., & Xia, M. (2020). Biodegradation of polystyrene. *Science of the Total Environment*, 708, 135233. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135233>
- Yang, Y., Yang, J., Wu, W. M., Zhao, J., Song, Y., Gao, L., Yang, R., & Jiang, L. (2015a). Biodegradation and mineralization of polystyrene by plastic-eating mealworms: Part 1. Chemical and physical characterization and isotopic tests. *Environmental Science & Technology*, 49(20), 12080–12086. <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b02661>
- Yang, Y., Yang, J., Wu, W. M., Zhao, J., Song, Y., Gao, L., Yang, R., & Jiang, L. (2015b). Biodegradation and mineralization of polystyrene by plastic-eating mealworms: Part 2. Role of gut microorganisms. *Environmental Science & Technology*, 49(20), 12087–12093. <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b02663>
- Yang, X. G., Wen, P. P., Yang, Y. F., Jia, P. P., Li, W. G., & Pei, D. S. (2023). Plastic biodegradation by in vitro environmental microorganisms and in vivo gut microorganisms of insects. *Frontiers in Microbiology*, 13, 1001750. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.1001750>
- Zhang, M., Zhao, Y., Qin, X., & others. (2019). Microplastics in farmland soil. *Science of the Total Environment*, 688, 470–478. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.06.108>

Anexos

Matriz de consistencia lógica y metodológica

Título del proyecto: “Capacidad de biodegradación de termoplásticos mediante el uso de insectos detritívoros en condiciones de entorno controlado”

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN	VARIABLE	METODOLOGÍA
<u>PROBLEMA GENERAL.</u> ¿Cuál es la capacidad de biodegradación de termoplásticos mediante el uso de la cucaracha <i>Blaptica dubia</i> y las larvas de <i>Tenebrio molitor</i> y <i>Zophobas morio</i>, bajo condiciones controladas de laboratorio? <u>PROBLEMAS ESPECÍFICOS.</u> ¿Cómo influye la especie de insecto detritívoro (<i>Blaptica dubia</i>, y las larvas de <i>Tenebrio molitor</i> y <i>Zophobas morio</i>) en la capacidad de biodegradación de termoplásticos bajo condiciones controladas de laboratorio? ¿Cómo influye la densidad de los insectos detritívoros en la capacidad de biodegradación de termoplásticos bajo condiciones controladas de laboratorio? ¿Cómo influye el tiempo de exposición en la capacidad de biodegradación de termoplásticos mediante el uso de insectos detritívoros bajo condiciones controladas de laboratorio?	<u>OBJETIVO GENERAL.</u> Evaluar la capacidad de biodegradación de termoplásticos mediante el uso de la cucaracha <i>Blaptica dubia</i> y las larvas de <i>Tenebrio molitor</i> y <i>Zophobas morio</i>, en condiciones controladas de laboratorio. <u>OBJETIVOS ESPECÍFICOS.</u> Determinar la influencia de la especie de insecto detritívoro (<i>Blaptica dubia</i> y las larvas de <i>Tenebrio molitor</i> y <i>Zophobas morio</i>) en la capacidad de biodegradación de termoplásticos bajo condiciones controladas de laboratorio. Determinar la influencia de la densidad de los insectos detritívoros en la capacidad de biodegradación de termoplásticos bajo condiciones controladas de laboratorio. Determinar la influencia del tiempo de exposición en la capacidad de biodegradación de termoplásticos mediante el uso de insectos detritívoros bajo condiciones controladas de laboratorio.	<u>HIPÓTESIS GENERAL.</u> La capacidad de biodegradación de termoplásticos bajo condiciones controladas de laboratorio difiere entre la cucaracha <i>Blaptica dubia</i> y las larvas de <i>Tenebrio molitor</i> y <i>Zophobas morio</i>, reflejándose en variaciones en la reducción de la masa de los termoplásticos evaluados. <u>HIPÓTESIS ESPECÍFICAS.</u> La especie de insecto detritívoro (<i>Blaptica dubia</i>, <i>Tenebrio molitor</i> y <i>Zophobas morio</i>) influye en la capacidad de biodegradación de termoplásticos bajo condiciones controladas de laboratorio, generando variaciones en la reducción de la masa de los termoplásticos evaluados. La densidad de los insectos detritívoros influye en la capacidad de biodegradación de termoplásticos bajo condiciones controladas de laboratorio, observándose una mayor reducción de la masa de los termoplásticos conforme se incrementa la cantidad de individuos empleados. El tiempo de exposición de los termoplásticos a los insectos detritívoros influye en la capacidad de biodegradación bajo condiciones controladas de laboratorio, evidenciándose una reducción progresiva de la masa de los termoplásticos durante el periodo experimental.	<u>VARIABLE INDEPENDIENTE.</u> <i>Insectos detritívoros: Blaptica dubia, Tenebrio molitor y Zophobas morio.</i> Dimensiones: ➤ Especie de insecto detritívoro ➤ Densidad poblacional ➤ Tiempo de exposición <u>VARIABLE DEPENDIENTE.</u> Capacidad de biodegradación de termoplásticos: Polipropileno (PP), poliestireno expandido (EPS) y polietileno de baja densidad (LDPE) Dimensiones: ➤ Degradación física ➤ Consumo del termoplástico ➤ Velocidad de biodegradación	TIPO DE INVESTIGACION: Experimental NIVEL DE INVESTIGACION: Explicativo MÉTODO DE INVESTIGACIÓN: Método científico, inductivo y deductivo DISEÑO ESPECÍFICO: $Y_{ijkl} = \mu + T_i + D_j + tk + (TD)_{ij} + (Tt)_{ik} + (Dt)_{jk} + (TDt)_{ijk} + e_{ijkl}$ Donde: Y_{ijkl} = es la degradación del plástico observada μ = es la media general T_i = es el efecto del i-ésimo tratamiento D_j = es el efecto de la j-ésima densidad tk = es el efecto del k-ésimo tiempo $(TD)_{ij}$, $(Tt)_{ik}$, $(Dt)_{jk}$ = representan las interacciones dobles $(TDt)_{ijk}$ = es la interacción triple e_{ijkl} = es el error experimental TÉCNICA: Observación INSTRUMENTO: Fichas de registro