

UNIVERSIDAD DE HUANUCO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERIA AMBIENTAL



TESIS

“Evaluación de la eficiencia degradativa de las larvas del Zophobas morio en la biodegradación del poliestireno, Huánuco, 2024”

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

AUTOR: Olivas Gomez, Jhonatan Andy

ASESORA: Valdivia Martel, Perfecta Sofia

HUÁNUCO – PERÚ

2025

U

D

H

**TIPO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN:**

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

LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN: Biotecnología y Nanotecnología

AÑO DE LA LÍNEA DE INVESTIGACIÓN (2020)

CAMPO DE CONOCIMIENTO OCDE:

Área: Ingeniería, Tecnología

Sub área: Biotecnología ambiental

Disciplina: Biotecnología ambiental

DATOS DEL PROGRAMA:

Nombre del Grado/Título a recibir: Título

Profesional de Ingeniero ambiental

Código del Programa: P09

Tipo de Financiamiento:

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

DATOS DEL AUTOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 60395752

DATOS DEL ASESOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 43616954

Grado/Título: Maestro en ingeniería con mención en: gestión ambiental y desarrollo sostenible

Código ORCID: 0000-0002-7194-3714

DATOS DE LOS JURADOS:

Nº	APELLIDOS Y NOMBRES	GRADO	DNI	Código ORCID
1	Morales Aquino, Milton Edwin	Maestro en ingeniería, con mención en: gestión ambiental y desarrollo sostenible	44342697	0000-0002-2250-3288
2	Bonifacio Munguía, Jonathan Oscar	Maestro en medio ambiente y desarrollo sostenible, mención en gestión ambiental	46378040	0000-0002-3013-8532
3	Romero Estacio, Jorge Antonio	Maestro en gestión pública para el desarrollo social	22520481	0009-0000-2063-4076



UNIVERSIDAD DE HUANUCO

Facultad de Ingeniería

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA AMBIENTAL

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

En la ciudad de Huánuco, siendo las 18:00 horas del día 09 del mes de octubre del año 2025, en cumplimiento de lo señalado en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad de Huánuco, se reunieron el sustentante y el **Jurado Calificador** integrado por los docentes:

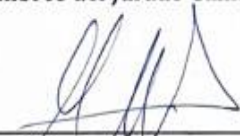
- Mg. Milton Edwin Morales Aquino (Presidente)
- Mg. Jonathan Oscar Bonifacio Munguia (Secretario)
- Mg. Jorge Antonio Romero Estacio (Vocal)

Nombrados mediante la **Resolución N° 2090-2025-D-FI-UDH** para evaluar la Tesis intitulada: **"EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DEGRADATIVA DE LAS LARVAS DEL *Zophobas Morio* EN LA BIODEGRADACIÓN DEL POLIESTIRENO, HUANUCO, 2024"**, presentado por el (la) Bach. **OLIVAS GOMEZ, JHONATAN ANDY** para optar el Título Profesional de Ingeniero(a) Ambiental.

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

Habiendo absuelto las objeciones que le fueron formuladas por los miembros del Jurado y de conformidad con las respectivas disposiciones reglamentarias, procedieron a deliberar y calificar, declarándolo(a) aprobado Por unanimidad con el calificativo cuantitativo de 15 y cualitativo de bueno (Art. 47)

Siendo las 18:00 horas del día 09 del mes de octubre del año 2025, los miembros del Jurado Calificador firman la presente Acta en señal de conformidad.


Mg. Milton Edwin Morales Aquino
DNI: 44342697
ORCID: 0000-0002-2250-3288
Presidente


Mg. Jonathan Oscar Bonifacio Munguia
DNI: 46378040
ORCID: 0000-0002-3013-8532
Secretario


Mg. Jorge Antonio Romero Estacio
DNI: 22520481
ORCID: 0009-0000-2063-4076
Vocal



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

El comité de integridad científica, realizó la revisión del trabajo de investigación del estudiante: JHONATAN ANDY OLIVAS GOMEZ, de la investigación titulada "EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DEGRADATIVA DE LAS LARVAS DEL ZOPHOBAS MORIO EN LA BIODEGRADACIÓN DEL POLIESTIRENO, HUÁNUCO, 2024", con asesor(a) PERFECTA SOFIA VALDIVIA MARTEL, designado(a) mediante documento: RESOLUCIÓN N° 0056-2024-D-FI-UDH del P. A. de INGENIERÍA AMBIENTAL.

Puede constar que la misma tiene un índice de similitud del 21 % verificable en el reporte final del análisis de originalidad mediante el Software Turnitin.

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

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

Huánuco, 16 de septiembre de 2025



RICHARD J. SOLIS TOLEDO
D.N.I.: 47074047
cod. ORCID: 0000-0002-7629-6421



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

135. Olivas Gomez, Jhonatan Andy.docx

INFORME DE ORIGINALIDAD

21%	21%	5%	10%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	5%
2	repositorio.udh.edu.pe Fuente de Internet	3%
3	pdfs.semanticscholar.org Fuente de Internet	1%
4	www.aimplas.es Fuente de Internet	1%
5	alicia.concytec.gob.pe Fuente de Internet	1%



RICHARD J. SOLIS TOLEDO
D.N.I.: 47074047
cod. ORCID: 0000-0002-7629-6421



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

DEDICATORIA

A Dios, por acompañarme y ser mi guía espiritual en este largo camino, gracias a él superé los momentos difíciles y me levanté para culminar con éxito mis objetivos planteados.

A mi madre Maruja, por su apoyo incondicional y por siempre impulsarme a ser mejor y lograr con éxito mi carrera.

A mis hermanos Jean y Jhunion, por siempre estar para mí, saben que este logro también es de ustedes.

AGRADECIMIENTO

A Dios, por toda la salud que me dio y brindarme la oportunidad de llegar a esta etapa tan importante de mi vida académica y profesional.

A la Universidad de Huánuco, por ser parte fundamental en mi Desarrollo profesional y personal.

A mi asesora, por su dedicación y paciencia en guiarme todo este proceso importante en mi vida académica.

A mis jurados, por sus conocimientos, experiencias, tiempo y sugerencias para el desarrollo del proyecto.

ÍNDICE

DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTO	III
ÍNDICE.....	IV
ÍNDICE DE TABLAS.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VIII
RESUMEN	IX
ABSTRACT	X
INTRODUCCIÓN.....	XI
CAPITULO I	13
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	13
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	13
1.1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	15
1.1.1. PROBLEMA GENERAL	15
1.1.2. PROBLEMA ESPECÍFICO	15
1.2. OBJETIVOS	16
1.2.1. OBJETIVO GENERAL	16
1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
1.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	16
1.4. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN	17
1.5. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN.....	17
CAPÍTULO II	19
MARCO TEÓRICO	19
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	19
2.1.1 ANTECEDENTES INTERNACIONALES.....	19
2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES	21

2.1.3. ANTECEDENTES LOCALES	23
2.2. BASES TEÓRICAS	25
2.2.1. LARVAS	25
2.2.2. CARACTERÍSTICAS DE LAS LARVAS	26
2.2.3. TIPOS DE LARVAS	27
2.2.4. ZOPHOBAS MORIO	28
2.2.5. TAXONOMÍA DEL ZOPHOBAS MORIO	29
2.2.6. CARACTERÍSTICAS DEL ZOPHOBAS MORIO	29
2.2.7. CICLO DE VIDA DEL ZOPHOBAS MORIO	30
2.2.8. ALIMENTACIÓN Y CUIDADO	32
2.2.9. CAPACIDAD DE DEGRADACIÓN	32
2.2.10. IMPACTO DEL ZOPHOBAS MORIO AL AMBIENTE	33
2.2.11. LOS ZOPHOBAS MORIO SE ALIMENTAN DE PLÁSTICO	33
2.2.12. BIODEGRADACIÓN DEL PLÁSTICO	34
2.2.13. PROCESO DE BIODEGRADACIÓN DEL PLÁSTICO	35
2.2.14. BIODEGRADACIÓN DE PLÁSTICOS POR LARVAS DE LA CERA	35
2.2.15. LARVAS QUE ROMPEN EL POLIETILENO (PE)	36
2.2.16. BIODEGRADACIÓN DE PLÁSTICOS CON EL USO DE LARVAS DE HARINA (COLEOPTERA: TENEBRIONIDAE)	37
2.2.17. PLÁSTICO	37
2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES	43
2.4. HIPÓTESIS	46
2.4.1. HIPOTESIS GENERAL	46
2.4.2. HIPOTESIS ESPECIFICAS	46
2.5. VARIABLES	47
2.5.1. VARIABLE INDEPENDIENTE	47
2.5.2. VARIABLE DEPENDIENTE	47

2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	48
CAPÍTULO III	49
MÉTODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	49
3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN	49
3.1.1. ENFOQUE.....	49
3.1.2. ALCANCE O NIVEL	50
3.1.3. DISEÑO.....	50
3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA	51
3.2.1. POBLACIÓN	51
3.2.2. MUESTRA.....	52
3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS. 53	
3.3.1. PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS.....	53
3.3.2. PARA LA PRESENTACIÓN DE DATOS.....	56
3.3.3. TÉCNICAS PARA EL ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS.....	56
CAPÍTULO IV.....	57
RESULTADOS	57
4.1. PROCESAMIENTO DE DATOS	57
4.2. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS Y PRUEBA DE HIPÓTESIS ..	66
CAPÍTULO V.....	68
DISCUSIÓN DE RESULTADOS	68
CONCLUSIONES	72
RECOMENDACIONES.....	73
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	74
ANEXOS	81

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Clasificación de los plásticos.....	41
Tabla 2 Operacionalización de variables	48
Tabla 3 Coordenadas UTM WGS-84	52
Tabla 4 Circunscripción temporal de la investigación	52
Tabla 5 Tecnicas e instrumentos para la recoleccion de datos	53
Tabla 6 Descripción de la perdida de masa del poliestireno mediante el uso del Zophobas Morio en la biodegradación del poliestireno	57
Tabla 7 Evaluación de la eficiencia en el consumo de P. expandido en 15 días	58
Tabla 8 Evaluación de la eficiencia en el consumo de P. expandido en 30 días	59
Tabla 9 Descripción de la tasa de supervivencia y mortandad del Zophobas morio en el proceso de biodegradación del poliestireno	59
Tabla 10 Descripción de la diferencia de temperatura del poliestireno evaluado en un periodo de 15 días, a las 6 am y 6 pm.....	61
Tabla 11 Descripción de la diferencia de temperatura del poliestireno evaluado en un periodo de 30 días, a las 6 am y 6 pm.	63
Tabla 12 Prueba de normalidad de los datos con Shapiro-WILK	65
Tabla 13 Resultados de la Prueba t de Student para Muestras Relacionadas (Masa Inicial vs. Final del Poliestireno)	66

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Larvas de Zophobas Morio.....	29
Figura 2 Ciclo de vida del Zophobas	31
Figura 3 contaminación por plástico.....	39
Figura 4 Diseño de distribución	51
Figura 5 Procedimiento de ejecución de tesis de Rivera (2023)	54
Figura 6 Descripción de la pérdida de masa del poliestireno mediante el uso del Zophobas Morio en la biodegradación del poliestireno.....	57
Figura 7 Descripción de la tasa de sobrevivencia y mortandad del Zophobas Morio en el proceso de biodegradación del poliestireno.....	60
Figura 8 Descripción de la diferencia de temperatura del poliestireno evaluado en un periodo de 15 días, a las 6 am y 6 pm.....	62
Figura 9 Descripción de la diferencia de temperatura del poliestireno evaluado en un periodo de 30 días, a las 6 am y 6 pm	64

RESUMEN

El presente estudio titulado “Evaluación de la eficiencia degradativa de las larvas de *Zophobas morio* en la biodegradación del poliestireno, Huánuco, 2024” tuvo como objetivo principal evaluar la capacidad degradativa de las larvas de *Zophobas morio* como biodegradadores del poliestireno expandido (Tecnopor). La metodología usada es de enfoque cuantitativo, tipo aplicada y nivel explicativo, desarrollando un diseño cuasiexperimental, contando con 1 grupo control (Gc) y dos grupos experimentales a ser evaluados, las larvas de *Zophobas morio* en 15 días (GE1) y las larvas de *Zophobas morio* en 30 días (GE2), manipulando la densidad larvaria (50, 70 y 100 individuos) y el tiempo de exposición (15 y 30 días), utilizando 10 g de poliestireno como sustrato en cada unidad experimental. Terminando así el estudio a los 30 días. Los Resultados demostraron que la eficiencia fue dependiente de las variables, registrándose una máxima eficiencia degradativa del 6.3% del material en el grupo de 100 larvas a los 30 días, lo que supuso una pérdida de masa total consumida de 1.19 g en el periodo final. Además, la viabilidad biológica del método fue confirmada por una alta tasa de supervivencia promedio del 97.5% en toda la población evaluada. Crucialmente, el análisis estadístico (prueba t de Student) demostró que la diferencia en la pérdida de masa fue altamente significativa ($p=0.032$), lo que permitió aceptar la Hipótesis Alternativa y validar la eficiencia del tratamiento. Concluyendo que las larvas de *Zophobas morio* son eficientes en la biodegradación del poliestireno, confirmando su potencial como agente de bioconversión para el manejo sostenible de residuos plásticos y proyectando su uso en estrategias de bioremediación asistida por insectos a escala piloto.

Palabras clave: Eficiencia, evaluación, biodegradación, *Zophobas Morio* y Poliestireno expandido.

ABSTRACT

The present study, titled “Evaluation of the Degradative Efficiency of *Zophobas morio* Larvae in Polystyrene Biodegradation, Huánuco, 2024,” had as its primary Objective to evaluate the degradative capacity of *Zophobas morio* larvae as bioconversion agents for expanded polystyrene (Styrofoam). The Methodology employed was quantitative in approach, applied in type, and explanatory in level, utilizing a quasi-experimental design. This design involved a single control group (GC) and two experimental groups: larvae exposed for 15 days (GE1) and 30 days (GE2). Variables were manipulated by altering larval density (50, 70, and 100 individuals) and exposure time (15 and 30 days), using 10 g of polystyrene as the substrate in each experimental unit, concluding the study after 30 days. The Results demonstrated that efficiency was dependent on the variables, recording a maximum degradative efficiency of 6.3% of the material in the group of 100 larvae after 30 days, which accounted for a total consumed mass loss of 1.19 g in the final period. Furthermore, the biological viability of the method was confirmed by a high average survival rate of 97.5% across the entire evaluated population. Crucially, the statistical analysis (Student’s t-test) demonstrated that the difference in mass loss was highly significant ($p=0.032$), which allowed for the acceptance of the Alternative Hypothesis and validated the treatment’s efficiency. Concluding that *Zophobas morio* larvae are efficient in polystyrene biodegradation, confirming their potential as a bioconversion agent for the sustainable management of plastic waste and projecting their use in insect-assisted bioremediation strategies at the pilot scale.

Keywords: Efficiency, evaluation, biodegradation, *Zophobas morio*, expanded polystyrene

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el poliestireno expandido (EPS) es un grave problema ambiental debido a su lenta degradación y rápida acumulación en vertederos y espacios naturales, lo que contribuye a la degradación de los ecosistemas. Este material, de baja biodegradabilidad, puede persistir en el medio ambiente durante siglos, convirtiéndolo en uno de los plásticos más problemáticos. Por ello, la búsqueda de métodos innovadores y ecológicos para su biodegradación se ha convertido en una prioridad científica para mitigar su impacto y fomentar soluciones sostenibles.

En este sentido, las larvas de *Zophobas morio*, un insecto conocido por su capacidad para consumir diversos tipos de materiales orgánicos y plásticos, emergen como un agente potencial para eliminar el poliestireno. A diferencia de otros métodos de tratamiento de residuos plásticos, el uso de organismos vivos para descomponer estos materiales ofrece una alternativa más natural y sostenible, reduciendo el impacto ambiental de los plásticos de difícil descomposición.

Este estudio busca dar solución a muchos problemas ambientales que son causados por el residuo sólido plástico frente a las limitaciones de las estrategias tradicionales, este estudio se justifica por su objetivo de evaluar la capacidad degradativa de las larvas de *Zophobas morio* en la biodegradación del poliestireno expandido, analizando la tasa de consumo y la eficiencia degradativa en periodos de 15 y 30 días bajo condiciones controladas en Huánuco, Perú. La información generada busca contribuir directamente al desarrollo de soluciones sostenibles para el tratamiento de plásticos resistentes a la degradación natural.

En los capítulos siguientes, se abordarán los aspectos clave de esta investigación. En el Capítulo I se muestra los problemas planteados y los objetivos del presente estudio. El Capítulo II se dedica al marco teórico, proporcionando el contexto sobre la biodegradación del poliestireno, las larvas de *Zophobas morio*, y otras investigaciones trascendentales.

La Metodología de la Investigación se encuentra en el Capítulo III, donde se conocerá la población, muestra, instrumentos y técnicas usadas para lograr nuestros objetivos planteados, seguido de los Resultados obtenidos en el Capítulo IV. Finalmente, el Capítulo V detalla la Discusión de los resultados, al igual que sus posteriores conclusiones y recomendaciones para futuras investigaciones.

Mediante el presente estudio, espero aportar información necesaria sobre el uso de organismos biodegradadores para el manejo de residuos plásticos, promoviendo así que nuevas investigaciones adopten soluciones más amigables con el medio ambiente.

CAPITULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Cuando hablamos del poliestireno se trata sobre un material plástico ligero y aislante que es utilizado en gran variedad de aplicaciones en los últimos tiempos la cual está causando una contaminación masiva ya sea al agua, suelo y aire afectando al ser humano, a los animales y plantas. Además de ello es utilizado en muchos productos de nuestra vida cotidiana, desde envases de comida rápida hasta materiales de construcción. Sin embargo, su uso excesivo y desventajoso para el medio ambiente ha estado generando preocupación mundial en los últimos años. El poliestireno causa daños significativos al medio ambiente, incluyendo la polución de la tierra y del agua, por ende, afecta a la vida marina y a la salud humana. En la actualidad este material en diversas presentaciones está siendo usado muy constantemente, la cual con todas estas acciones estamos generando un impacto negativo al ambiente. A ello le sumamos la mala costumbre que dejó la pandemia en adquirir comida mediante deliverys dando paso al uso de envases de poliestireno y así convirtiéndose en la principal fuente en generar recipientes de poliestireno.

Según Quiminet (2011) en el año 1930 fue descubierto un material llamado poliestireno, por una compañía química llamada, Farbenindustrie A. G., el cual para el mismo año fabricó una planta industrial capaz de producir una centena de toneladas al año de poliestireno. Por otro lado, en el año 1938 en los Estados Unidos se introdujo comercialmente el primer poliestireno de uso general. En esas mismas épocas a consecuencias de la escasez del se realizaron cauchos sintéticos, partiendo el proceso de evolución del poliestireno desde este punto, para luego formar un grupo de polímeros de estireno siendo muy comercializados en el mundo en la actualidad.

Según Oceana (2025) el poliestireno a nivel mundial está considerado como un elemento cancerígeno, por estar compuesto por materiales tóxicos peligros para el ser humano, un ejemplo podría ser la del poliestireno

expandido, quién tiene por compuesto el estireno y otras sustancias químicas quienes pueden filtrarse fácilmente en alimentos y bebidas.

Según Ministerio del Ambiente (2021) en el Perú diariamente se producen alrededor de 21 mil toneladas de residuos comunales, producto de los treinta millones de individuos del país. Esto igual a aproximadamente 0.8 kilogramos de producción de residuos por individuo al día, un 50% de estos restos son tipo orgánica, Vegetales y alimentos. Resaltando el relevante rol que tiene el ciudadano cuando realizan el uso de productos de manera responsable y en el desarrollo de principios relacionados con la minimización de residuos sólidos. Es fundamental preguntarse si los productos que adquirimos son reciclables y proyectar qué haremos con los residuos que generamos.

Según Centro Nacional de Planeamiento Estratégico (2023) en la ciudad de Huánuco se aumentó en 41 mil toneladas con respecto del 2016 al 2023 la generación de residuos sólidos municipales. Obviamente esto se debe a la sobrepoblación inminente, por otro lado, la generación per cápita también ha crecido, pasando de 0,63 kg en 2016 a 0,79 kg por persona por día en 2023.

Esta información resalta la importancia de implementar medidas para disminuir y concientizar la generación de residuos sólidos, para poder mejorar la administración de estos, así preservar un medioambiente saludable.

Posterior a la pandemia, en Huánuco se ha observado un aumento en el uso de servicios de delivery, lo que ha generado una mayor cantidad de residuos de poliestireno de tiempo récord en comparación con la vida útil de estos materiales. Este cambio en el comportamiento, impulsado por la necesidad de distanciamiento social y la conveniencia de recibir productos en casa, ha tenido un impacto significativo en la generación de residuos. Es importante considerar alternativas más sostenibles para el empaque y la entrega de productos, así como promover prácticas de reciclaje y reutilización para mitigar este impacto ambiental, investigaciones descubrieron que existen larvas que biodescomponen el poliestireno, el cual es una solución apegarnos a ello para reducir la contaminación mediante este material.

Por lo expuesto podemos afirmar que existe un mal manejo de estos residuos, ante ello es importante la intervención de los ciudadanos, estudiantes y autoridades con alternativas que ayuden a solucionar el problema. Como Bachiller de la Universidad de Huánuco mi propuesta es: evaluar la eficiencia de la capacidad degradativa de las larvas de *Zophobas morio* en la biodegradación del poliestireno. Este análisis busca determinar cuál de estas larvas es más eficiente en términos de tiempo para degradar el poliestireno, con el fin de aplicar esta solución en la ciudad de Huánuco y así mitigar la contaminación causada por estos residuos, que dañan significativamente a la biosfera y la salud del Individuo.

Dada esta problemática, es crucial explorar diferentes alternativas para degradar el poliestireno y encontrar una solución que beneficie al ambiente y a la salud humana. El presente estudio menciona información valiosa y confiable de como poder hacer uso de tratamientos sostenibles en la disminución de estos residuos plásticos tan nocivos para el medio ambiente y su ecosistema.

1.1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.1.1. PROBLEMA GENERAL

¿Cuál es la eficiencia degradativa de las larvas de *Zophobas morio* en la biodegradación del poliestireno?

1.1.2. PROBLEMA ESPECÍFICO

¿Cuál es la eficiencia degradativa de las larvas de *Zophobas morio* en la biodegradación del poliestireno expandido en un periodo de 15 días?

¿Cuál es la eficiencia degradativa de las larvas de *Zophobas morio* en la biodegradación del poliestireno expandido en un periodo de 30 días?

¿Qué cantidad de masa de poliestireno se reduce como resultado de la acción degradativa de las larvas de *Zophobas morio*?

¿Cuál es la tasa de supervivencia y de mortalidad de las larvas de *Zophobas morio* en el proceso de biodegradación del poliestireno?

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar la eficiencia degradativa de las larvas de *Zophobas morio* en la biodegradación del poliestireno.

1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Determinar la eficiencia degradativa de las larvas de *Zophobas morio* en la biodegradación del poliestireno en un periodo de 15 días.

Determinar la eficiencia degradativa de las larvas de *Zophobas morio* en la biodegradación del poliestireno en un periodo de 30 días.

Cuantificar la pérdida de masa del poliestireno en el proceso de biodegradación del poliestireno llevado a cabo por larvas de *Zophobas morio*.

Estimar la tasa de supervivencia y de mortalidad de las larvas de *Zophobas morio* en el proceso de biodegradación del poliestireno.

1.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Este proyecto surge de la inquietud por el efecto negativo que produce el cumulo masivo de restos sólidos, como el poliestireno, cuya degradación es extremadamente lenta. Ante esta problemática, se propone desarrollar un método para acelerar la descomposición de este material, con la finalidad de disminuir la contaminación medioambiental y proteger la salud humana.

Esta actividad se considera importante porque pretende buscar una solución a la contaminación del ambiente, a través de la biodegradabilidad del poliestireno mediante utilización de la larva *Zophobas morio*.

Después de revisar las fuentes bibliográficas, se ha confirmado que actualmente no existe un estudio completo sobre la aceleración de la biodegradación del material poliestireno en el departamento de Huánuco. Esta investigación no causa perjuicio alguno, sino que más bien genera un impacto positivo en la sociedad, beneficiando a los ciudadanos y contribuyendo en elevar la calidad Medioambiental y el bienestar de los individuos, a su vez ayudaría a mitigar el crecimiento del calentamiento global.

Es por ello que el desarrollo de esta investigación, en sus diferentes etapas de estudio (descripción del problema, antecedentes, marco teórico, proceso de ejecución, diseño de instrumento del recojo de datos, validación de datos, discusión de los resultados obtenidos con ambas variables de calibración, conclusiones y exploración bibliográfica) hará que sirva como antecedente para futuros estudiantes en sus investigaciones, justificando el valor de su estudio.

1.4. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

Dicho proyecto está enfocado en el estudio del nivel degradativo del poliestireno a pequeña escala haciendo uso de la larva *Zophobas morio*, no se realizó a gran cantidad debido a la falta de dinero para cubrir los gastos necesarios.

Otra limitación es debido a que en la ciudad de Huánuco no existe un criadero de las larvas que se usará, entonces hace que su adquisición desde la capital del Perú sea complicada, teniendo que pasar cambios de temperaturas y largas horas de viaje el cual puede suceder una significativa cantidad de mortandad, eso haría que se genere mayor gasto económico adquiriendo larvas adicionales.

1.5. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN

El desarrollo del proyecto que se está investigando, será factible, Gracias a que se ejecutará en la vivienda del investigador, a ello sumándole el compromiso y apoyo de mis familiares. Además, la adquisición de las larvas y envases de poliestireno es accesible económicamente por el alumno investigador, la viabilidad ambiental también es parte de la investigación ya

que haré uso de los residuos de poliestireno reciclado de nuestro consumo en casa.

La disposición completa de mi persona, asesoramiento profesional, conocimientos mediante los antecedentes, el soporte teórico y práctico hace que el proyecto sea aún más viable.

Cabe recalcar que la metodología propuesta en esta investigación puede ejecutarse a mayor escala en otras instituciones, porque se aspira impactar de manera positiva en el ambiente, sabiendo que la estrategia de aprovechamiento de estas larvas es útil para desintegrar y disminuir el poliestireno, llegando a contribuir al desarrollo tecnológico.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1 ANTECEDENTES INTERNACIONALES

Cardozo (2020) en su Tesis con título: *“Biodegradación del poliestireno expandido por larvas de Tenebrio molitor L. (Coleóptera: Tenebrionidae), en condiciones de laboratorio”* llevada a cabo en la Universidad Nacional Abierta y a Distancia en Colombia. El objetivo del presente estudio fue examinar la eficacia del consumo y descomposición del PE (Poliestireno Expandido) por las larvas de Tenebrio molitor L. (Coleóptera Tenebrionidae) en un entorno de laboratorio. Como **metodología**, específica 1) Se determinó la cantidad de poliestireno expandido que puede ser consumido por las larvas de Tenebrio molitor. 2.) Se evaluó la habilidad del Tenebrio molitor para descomponer poliestireno expandido. Para ello se utilizó un diseño experimental completamente al azar con cuatro tratamientos (T1-10 Larvas (L), T2-20 L, T3-30 L, T4-40 L), por cada uno se realizó cinco repeticiones, utilizando 500 mg de poliestireno expandido. Se recopilaron datos semanalmente para medir la cantidad de poliestireno consumido por las larvas en cada tratamiento, así como el peso de los desechos producidos por las larvas. Como **resultado**, Se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos ($P < 0.05$) utilizando larvas de T. molitor en cuanto al consumo y la biodegradación, lo que demuestra la eficacia del proceso 3. Además, se confirmó que dicha cantidad de larvas no determina la cantidad de consumo y biodegradación. Se llega a la **conclusión**; que el T. molitor podría ser utilizado con la finalidad descomponer (Poliestireno Expandido) en un entorno de pequeña escala.

Ling (2023) en su Tesis con título: *“Comparación de la capacidad de biodegradación de plásticos por larvas de insectos de la familia*

Pyralidae y *Tenebrionidae*” llevada a cabo en la Escuela Superior Politécnica del Litoral en Ecuador. El **objetivo** fue explorar la suficiencia de descomposición biológica utilizando macroorganismos y microorganismos como insectos, los cuales tienen la capacidad de metabolizar y descomponer los plásticos. Esta actividad denominada como entomoremediación. La **metodología**; de este estudio, se llevó a cabo con un bioensayo con 3 tipos de tratamientos que involucraron el uso de dos clases de larvas de insectos (*Galleria mellonella* y *Zophobas morio*) y 3 clases de plásticos desechables (PET, EPS, LDPS). Estos materiales fueron evaluados durante un ensayo que tuvo de duración en un intervalo de 4 semanas (28 días). Como resultados; revelaron que las larvas mostraron preferencia por comer el EPS, con las larvas de *Z. morio* degradando un 7% del EPS en 4 semanas (28 días), y las larvas de *G. mellonella* degradando un 10,4% del EPS en 10 días. Esto evidencia una eficacia de la capacidad al degradar el EPS por parte de las larvas. En **conclusión**, las larvas de *G. mellonella* podrían ser utilizadas para descomponer el EPS.

Cunguan et al. (2023) en su investigación con título “*Biodegradación del plástico con larvas de insecto Tenebrio molitor como contribución interdisciplinar a la biotecnología a la biotecnología medioambiental*” realizada en la Universidad Estatal de Milagro en Ecuador. El **objetivo** principal de este estudio fue del uso de larvas del *Tenebrio molitor* como contribución a la educación en el campo de la biotecnología ambiental. la **metodología**; este estudio se fundamentó en tres fases: la descripción de las larvas de *Tenebrio molitor*, el cuidado de las larvas y la medición de su capacidad para descomponer el plástico. Los **resultados**; mostraron que la muestra 1 (M1) presentó una productividad específica de biomasa de 6.6 gramos, mientras que la muestra 2 (M2) registró 2.3 gramos. Además, se logró observar un cambio significativo en la cantidad y el color de las heces, en **conclusión**, la descomposición biológica del poliestireno afecta la elaboración de compost, lo que beneficia el tratamiento de residuos plásticos.

2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES

Valladolid (2023) en su tesis con título “*Biodegradación del poliestireno expandido mediante el uso de la especie tenebrio molitor (gusano de harina)*” llevada a cabo en la Universidad Continental en Arequipa, Perú. En la actualidad, los desechos de poliestireno expandido representan un gran desafío, ya que su degradación natural es extremadamente compleja y lleva mucho tiempo, causando un alto impacto considerable del medio ambiente, incluyendo posibles efectos sobre la salud del individuo. según investigaciones realizadas. Dicho estudio tuvo como **objetivo**; verificar la importancia de la desintegración de este compuesto que se está usando el gusano de harina, presentando una novedosa aproximación natural para investigar el empleo de organismos biológicos en la biodegradación adecuada. Se tomaron muestras del poliestireno expandido según su masa, su espesor y sus volúmenes para llevar a cabo el estudio, la **metodología**; se emplearon recipientes de 2 mm y desechos de embalaje de 18 mm. Para lo cual se desarrolló el método de la observación en todo el desarrollo de degradación del poliestireno expandido. Se llevaron a cabo 2 pruebas con 100 gusanos y 2 pruebas con 150 larvas por cada tratamiento seleccionado según se requiera. La evaluación se extendió a lo largo de un tiempo de veintinueve días, obteniendo como **resultado** un alto porcentaje de degradación en el embalaje de 18 mm con cien gusanos, y en el vaso de 2 mm se observó un nivel adecuado de degradación también con 100 gusanos, aunque la diferencia no fue significativa con el tratamiento de 150 larvas. **En conclusión**, se demostró que la especie *Tenebrio molitor* es capaz de degradar el poliestireno expandido. Logrando un adecuado % en la degradación del embalaje de 18 mm haciendo uso de cien gusanos, y en el vaso de 2 mm se registró un % óptimo de degradación con el uso de cien larvas, podemos decir que no hay mucha variabilidad haciendo uso las ciento cincuenta larvas.

Huarancca (2021) en su Tesis con título “Biodegradación de Poliestireno, por la acción de larvas de *Tenebrio molitor linnaeus*, a nivel

de laboratorio-Lima-2021” llevada a cabo en la Universidad Cesar Vallejo en Lima, Perú. Eliminar los desechos de poliestireno es crucial para aminorar el impacto en la naturaleza que nos rodea, y este estudio se desarrolló con la finalidad de abordar esta necesidad, el objetivo fue examinar la eficacia del *Tenebrio molitor*, en la biodegradabilidad del poliestireno. La metodología: Es de carácter aplicado y se centra en el poliestireno expandido y el poliestireno extruido, utilizando muestras de 26.984 g y 27.872 g respectivamente. El estudio se realizó durante un tiempo de 30 días, a condiciones de temperatura media de 21.3 °C y humedad relativa media de 71.3 %. Los resultados de las larvas de *T. molitor* que se alimentaron con poliestireno expandido mostraron un consumo promedio de 0.226 g, con una eficiencia del 3.4 %. Además, se observó un aumento promedio del 9.2 % en la masa larvaria, con una producción de 0.346 g de fécula y una tasa de supervivencia del 88.3 %. Por otro lado, las larvas expuestas al poliestireno extruido consumieron en promedio 0.128 g, con una eficiencia del 1.8 %. Se registró una disminución del 1.0 % en la masa larvaria, con una producción de 0.231 g de fécula y una tasa de supervivencia del 89.5 %. En cuanto a la cantidad de CO₂, se observó un aumento del 69.9 % para el poliestireno expandido y del 65.6 % para el poliestireno extruido en comparación con la cantidad inicial promedio. Concluye; *T. molitor* muestran una eficiencia alta en la biodegradación del poliestireno expandido en comparación con el poliestireno extruido. Esta diferencia se ve directamente influenciada por el nivel de rigidez que poseen las larvas.

Díaz et al. (2023) en su Tesis con título “Larvas de *Tenebrio molitor* con sustratos orgánicos en la biodegradación de residuos de poliestireno expandido (EPS) a escala de laboratorio, Callao 202” realizada en la Universidad del Callao en el Callao, Perú. Su objetivo, medir la eficacia *Tenebrio molitor* en la degradación de restos del poliestireno expandido (EPS) utilizando sustratos orgánicos. Este estudio es de tipo aplicativo, con un enfoque cuantitativo. Utilizo una población de estudio compuesta por los residuos de EPS degradados de la fábrica como resultado de lo utilizado en la protección y el del embalaje de electrodomésticos, la

metodología: El conjunto de residuos de EPS utilizado en el estudio consistió en un total de 7.5 g, distribuidos en 12 grupos siguiendo un diseño experimental 4 x 4. El análisis estadístico aplicado fue ANOVA de un factor. La fase experimental del desarrollo en un periodo de 30 días., como resultado; Se evidenció que la presencia de larvas de *Tenebrio molitor* junto a los sustratos orgánicos tiene gran impacto positivo en la biodegradabilidad en los residuos de EPS. Además, se determinó que la eficacia de este proceso alcanza su punto óptimo con una concentración del 75 % de sustratos orgánicos, logrando una tasa de biodegradativa de hasta un 57 %, concluye demostrando que el uso de larvas de *Tenebrio molitor* junto a sustratos orgánicos en la biodegradabilidad es efectivo para reducir al mínimo los residuos de EPS.

2.1.3. ANTECEDENTES LOCALES

Condezo (2022) en su tesis titulado *“Eficiencia de las larvas *Tenebrio molitor* en la biodegradación de polímeros, Huánuco 2019”* realizada en la Universidad de Huánuco en la ciudad de Huánuco. Nos encontramos con la acumulación de desechos sólidos, lo que está causando diversos daños al ecosistema. Las consecuencias de esto han tenido un impacto negativo a nivel global, su **objetivo**: examinar la eficacia de los gusanos para biodegradar los polímeros, se eligió realizar una investigación experimental para evaluar la eficacia de las larvas en diferentes tipos de polímeros las cuales fueron las bolsas de baja densidad, poliestireno y pañales. En los análisis del informe final, se emplean estadísticas no experimentales para analizar los datos y se realiza un post-test para comprobar la hipótesis. En la **metodología**; emplearon 0,231 g de poliestireno expandido (tecnopor) de densidad D10 (10 kg/m³), así como bolsas con baja densidad y pañales. Se realizaron 5 repeticiones de cada muestra para la digestión de los gusanos a una temperatura de veinticinco grados centígrados. Los **resultados** indicaron que existía una disparidad en la efectividad entre el poliestireno (valor p = 0,012) y los pañales de plástico (valor p = 0,038). Sin embargo, no hubo diferencias relevantes entre el poliestireno y el rendimiento de los pañales (valor p = 0,803). En cuanto a los porcentajes

de degradación, se encontró que el poliestireno alcanzó un 86,132%, las bolsas con baja densidad un 18,978% y los pañales un 73,527%. En **conclusión**, evidenció una desigualdad significativa en la biodegradabilidad de los polímeros.

Rivera Condezo (2023) en su tesis con título “Comparación de la eficacia de la capacidad degradativa de la larva tenebrio Molitor para la biodegradación de envases descartables (en base a fécula de maíz y poliestireno), Huánuco – 2022” elaborada en la Universidad de Huánuco en la ciudad de Huanuco. Este estudio determina como objetivo principal relacionar la suficiencia de la larva Tenebrio Molitor para degradar contenedores desechables hechos de harina de maíz y poliestireno en Huánuco, año 2022. Tipo de investigación prospectiva, analítica, con intervención y de tipo longitudinal. Su metodología consistió en criar larvas de Tenebrio Molitor que fueron alimentadas con frascos desechables, uno compuesto por Tecnopor y otro a base de Harina de maíz, por un periodo de 27 días (4 semanas), tomando datos de manera semanal, se utilizaron una décima de frascos de plástico con estas medidas: Ancho: 9.60 cm, Largo: 9.60 cm, Alto: 11.50 cm, todos con la capacidad contenido de 680, ml. En cinco de estos recipientes se colocaron 30 gramos de frascos desechables compuestos por poliestireno, y en los 5 restantes fueron colocados 30 gramos de envases desechables a base de harían de maíz. Por recipiente se introdujeron 100 gusanos de harina, en su primer mes del estado larvario. Al finalizar los 27 días, como resultado en lo que respecta al poliestireno, se observa una altura del 10.50 %, un peso del 10.00 % y unas dimensiones del 9.98 %. Por otro lado, en el caso de la fécula de maíz, la eficacia es del 23.00 % en altura, del 12.00 % en peso y del 12.00 % en dimensión. Se concluye que se determina la capacidad de la degradación de envases desechables hechos de fécula de maíz es más efectiva que la de los envases hechos de poliestireno.

Rivas (2020) en su tesis titulada “Capacidad biodegradativa de la cucaracha Periplaneta americana (Linnaeus, 1758) sobre la bolsa plástica y el FILM para la elaboración de abono” llevada a cabo en la

Universidad Nacional Agraria de la Selva en Tingo María. Su objetivo fue Analizar su capacidad de biodegradación de las cucarachas periplaneta americana (Linnaeus, 1758) en film y bolsas de plástico, y su impacto en la producción de Guanos. Determinar si las cucarachas recopiladas de Tingo María tienen la capacidad de biodegradabilidad de distintos tipos de LDPE: bolsas de plástico y film., la metodología incluyó la aplicación de dos tratamientos (T1 y T2), cada uno consistiendo en una capa de bolsa plástica o film de aproximadamente 0.1 g junto con una cucaracha, repetido 5 veces durante 1 y 2 semanas, a temperatura de 35 °C y 60 % de humedad en una incubadora tipo Rcom 20. Los resultados demuestran la eficacia promedio de biodegradabilidad de la cucaracha Periplaneta americana durante 1 semana es de 0.6 mg en la bolsa plástica y 0.9 mg en el film, mientras que durante 2 semanas es de 1 mg en la bolsa plástica y 0.3 mg en el film. Además, se visualizaron bacterias *Pseudomona* sp., *Bacillus* sp. y el hongo *Candida albicans* tras la extracción del tracto digestivo. En conclusión, el tratamiento T1 tuvo la mayor influencia en la producción de abono, demostrando una mejor biodegradación (gracias a su capacidad de formar nuevos grupos funcionales), y en poco promedio de pérdida de peso de las cucarachas debido al consumo de bolsa plástica (18.78 %), y con una alta producción de excreta (0.0028 %). Incluso, se realizaron los análisis de los micronutrientes, macronutrientes y sus parámetros físicos químicos en la excreta.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. LARVAS

Una larva es una especie de animal que continuamente se desarrolla, esto significa que ya dejó su huevo y ahora puede alimentarse por sí mismo, pero que aún no ha desarrollado la forma y la organización que caracteriza a los adultos de su especie (Pérez y Merino, 2021).

Una larva representa la fase juvenil de los animales holometábolos, es decir, aquellos que experimentan una metamorfosis completa durante su desarrollo. Durante esta etapa, la larva presenta características fenotípicas muy distintas a las del adulto, que es la etapa final del desarrollo. El propósito principal de la larva es acumular energía, por lo que cuenta con estructuras bucales peculiares que le permiten sobrevivir y alimentarse en un hábitat específico, creciendo hasta alcanzar su tamaño final. La duración de la etapa larval puede variar desde horas hasta meses o incluso años, Este dependerá del tipo y de la temperatura del entorno (Valera, 2022).

Según Tipos (2016) los expertos en Zoología definen como larva a la fase juvenil del organismo que, tras dejar el huevo, ya tienen la capacidad de autoalimentarse y a continuar su desarrollo para llegar a adquirir la apariencia y estructura propias de los ejemplares adultos. Dependiendo de la especie a la que pertenezcan, es posible distinguir entre distintos tipos de larvas, como las de mosquito, polilla, abeja, garrapata, hormiga, escarabajo, termita, pulga, entre otras opciones que son comunes.

Según Langley (2020) la mayor parte de los insectos empiezan en forma de huevos y después eclosionan en larvas (parr.1).

2.2.2. CARACTERÍSTICAS DE LAS LARVAS

Según Karen (2022) las principales características de una larva son:

- Tienen a menudo distintos segmentos y un cuerpo alargado
- Carece de extremidades visibles o son muy reducidas.
- No cuentan con órganos reproductivos desarrollados.
- Frecuentemente presentan un estilo de vida en ambientes acuáticos o semi acuáticos.
- Obtienen su alimento de materia vegetal o de organismos más pequeños.

- Suelen tener una morfología y estructura corporal distintas a las de los adultos.
- Experimentan un proceso de metamorfosis a fin de transformarse en adultos.

2.2.3. TIPOS DE LARVAS

Según Costa et al. (2006) muchas de las clasificaciones que se les asigna a las larvas se basan en caracteres morfológicos, pues ellos consideran 4 tipos básicos de larvas:

- Larvas de tipo protópoda: estos mayormente en parásitos, pues tienen larvas que nacen en fases muy tempranas de desarrollo, con estructuras corporales y sistemas internos poco formados, aunque en ciertos casos presentan mandíbulas y patas torácicas más desarrolladas.
- Larvas de tipo polípoda: estos a diferencia del grupo anterior si tienen las estructuras corporales bien definidas, también sus falsas patas y antenas poco desarrolladas.
- Larvas de tipo oligópoda: estos ya se caracterizan por tener patas torácicas, cabeza y apéndices cefálicos bien desarrollados.
- Larvas de tipo ápoda o vermiformes: se caracterizan por la ausencia completa de patas.

Por otro lado, según Karen (2022) es posible categorizar las larvas en diferentes grupos o tipos:

- Larva ápoda: se les caracteriza con este nombre a toda larva que carezcan de extremidades y su caparazón externo (esclerotización), llegando a ser poco desarrollado, por lo que se les dificulta moverse.
- Larva protópoda: Son larvas que no guardan ninguna similitud en su apariencia morfológica externa a la de las típicas larvas de insectos.
- Larva polípoda: estas larvas ya cuentan con apéndices similares a patas en la región abdominal y tres pares de

auténticas patas en la región torácica. Un ejemplo de esto son las larvas de Symphyta y las orugas de Lepidoptera.

- Larva oligópoda: son larvas que presentan piezas bucales y una cápsula cefálica bien desarrolladas, cuentan con patas en el tórax y carecen de ojos compuestos. Este tipo de larva se puede subdividir en la categoría Escarabeiforme y campodeiforme.

2.2.4. ZOPHOBAS MORIO

Las larvas de Zophobas morio pertenecen a la especie de escarabajo tenebriónido que son originarios de América Central y del Sur. Esta larva es conocida también como gusano gigante, supergusano o gusano rey por su gran tamaño comparado con el del Tenebrio molitor. Su ciclo vital es más largo que el del gusano de la harina y, como éste, hace una metamorfosis completa. Con una temperatura de unos 27°C y una alimentación adecuada se da una sucesión de generaciones en 3,5 o 4 meses. (SAMSA, s.f)

Mondragon (2021) define lo siguiente:

El Zophobas Morio es un Coleoptera, Tenebrionidae, de color negro opaco, robusto y de rápido desplazamiento. Son sus larvas y no los adultos, quienes resultan muy útiles en la alimentación de animales como peces, arañas, aves, reptiles, escorpiones, anfibios y mamíferos, por su alto contenido de proteínas. (p.23)

Ubeda y Maes (2021) definen al Zophobas como:

Insectos jerarquizados dentro de la familia Coleoptera, orden más grande de la clase Insecta. Las Zophobas pertenecen a una familia de insectos llamada Tenebrionidae, por ello en algunas fuentes bibliográficas se les menciona como tenebrios. Los adultos tienen un tamaño promedio de 2,4 cm para los machos y 2,6 cm para las hembras. (p.1)

Figura 1

Larvas de Zophobas Morio



Nota. Larvas de Zophobas después de haber sido separadas del sustrato. Estas larvas ya están listas para utilizarse como alimento. Tomado de (Úbeda y Maes, 2021).

2.2.5. TAXONOMÍA DEL ZOPHOBAS MORIO

Según la página BOTANICAL-ONLINE (2023) la taxonomía del Zophobas morio son:

- Reino: Animal
- Filo: Artrópodos
- Familia: Tenebrionidae
- Clase: Insecto
- Género: Zophobas
- Orden: Coleópteros
- Especie: Morio
- Nombre común: Gusano Rey

2.2.6. CARACTERÍSTICAS DEL ZOPHOBAS MORIO

La larva Zophobas Morio es una especie que se caracteriza por su considerable tamaño. Es por ello que, pueden llegar a medir 6 centímetros de ancho, otro aspecto que la diferencia de otras larvas es su estructura corporal, teniendo 6 patas pequeñas y dos

rudimentarias, con extremos largos y oscuros, de color negro y para sorpresa de muchas personas, esta larva tiene la cualidad de poder transformarse en otro insecto. Es decir, si se mantienen en aislamiento por un periodo de 10 días, son capaces de transformarse en escarabajos de hasta 3 centímetros de largo (Risso, 2022).

2.2.7. CICLO DE VIDA DEL ZOPHOBAS MORIO

Úbeda y Maes (2021) señalan lo siguiente:

El ciclo de vida de las larvas de Zophobas morio esta compuesto por cinco etapas; huevo, larva, pupa e imago. Dando inicio el ciclo las hembras, pues ellas al depositan los huevos en un sustrato optimo, para que luego éstos empiezan a eclosionar luego de una semana de haber sido depositados. De los sacos de huevos surgen larvas que miden escasamente 5 a 6 milímetros de longitud.

A partir de este momento las larvas comienzan su etapa de engorde, alimentandose de frutas, vegetales, granos secos, carne y en ocasiones canibalizan, debido a que en este lapso la larva necesita ganar peso y tamaño.

Cuando la larva alcanza los 60 días o bien los 4 a 4,5 cm de longitud mínima entran a la madurez, momento que indica que la larva está lista para iniciar el proceso de metamorfosis que consiste en buscar un lugar seco y seguro donde se aloja para empupar.

Posterior a los 4 días de aislamiento se inmovilizan y aumentan de grosor; etapa llamada pre-pupa. De 8-12 días de haber alcanzado la etapa prepupal se convierten en pupas. Las pupas son de color blanco y a medida que pasa el tiempo se tornan color café. Las pupas permanecen en este estadio durante un periodo aproximado de 10 a 12 días para después convertirse en un escarabajo joven de color blanco que va adquiriendo lentamente un color marrón claro indicando el final de la metamorfosis. Al escarabajo en esta etapa se le llama imago o adulto. (p.1)

Don Zophoba (s.f.) por su parte hace mencion que el ciclo de vida de la larva de Zophobas Morio comienza con la fase de Huevos, siendo estos de forma alargada, de color blanco y translúcidos, con una longitud que oscila entre 1,2 y 1,4 milímetros. Tardan alrededor de 8 a 12 días en madurar y convertirse en Larva , siendo la segunda fase, este comienza cuando el huevo eclosiona, emergiendo la larva de Zophobas Morio, la cual es de color marrón con extremidades más oscuras, casi Negras, destacando por ser unas de las larvas más grandes, pudiendo alcanzar hasta 6 cm de longitud, luego de 5 o 6 semanas en la fase inicial pasan a la fase de Pupa, siendo esta la etapa en donde las larvas experimentan la transición a escarabajos. Las pupas suelen tener un tamaño de 28 a 30 mm de longitud y son de color blanco. En esta etapa, las pupas tienen movilidad limitada.

Para finalmente convertirse en Escarabajo, siendo la cuarta fase y última. El escarabajo Zophobas Morio tiene las siguientes características: mide entre 3 y 3,4 cm de largo y entre 1 y 1,2 cm de ancho. Después de salir del estado de pupa, los escarabajos adquieren un color blanco pálido.

Figura 2

Ciclo de vida del Zophobas



Nota. La imagen describe el Ciclo de vida de las Zophobas en sistemas de producción (1) Sacos de huevos adheridos a la esponja. (2) Larva de Zophobas de una semana de edad. (3) Grupo de larvas de 30 días de edad iniciando el periodo de engorde. (4)

Estado pupal del ciclo. (5) Imago o última fase del ciclo de vida de Zophobas el Zophobas morio desde la cópula hasta convertirse en escarabajo. Tomado de (Úbeda y Maes, 2021)

2.2.8. ALIMENTACIÓN Y CUIDADO

Según Úbeda y Maes (2021) afirman lo siguiente :

No necesariamente los Zophobas comen casi de todo, porque existen evidencias científicas que prueban que es peligroso alimentarlos cualquier tipo de alimento. Por lo que es importante respetar las dietas y los requerimientos. Las dietas más exitosas claramente están basadas en alimentos destinados a la crianza de animales de corral, los cuales son ricos en proteínas y grasas, pero lo más importante de todo es que sean alimentos secos, que no sean atractivos de otros insectos, especialmente moscas de la fruta y mosca común, quienes se vuelven una molestia.

La mejor alimentación posible de las larvas está conformada por frutas dulces, vegetales o legumbres, bastante preferido por estos animales. Lo beneficioso de estos alimentos es que, las larvas al comerlos no necesitan agua, porque la humedad que necesitan la extraen del alimento suministrado. Son pocos los alimentos que las larvas de Zophobas no pueden consumir, como son los alimentos fritos, nunca se debe de alimentar a las Zophobas con alimentos fritos o que liberen aceite. (p.32)

2.2.9. CAPACIDAD DE DEGRADACIÓN

Según Risso (2022) la larva de Zophobas morio resalta en el campo científico, debido a que en muchos proyectos estas larvas fueron sometidas a muchas pruebas, y en estas evidencian que son capaces de alimentarse del plástico, todo esto gracias a sus propiedades y cualidades, también se demostró que esta larva al cumplir su fase de metamorfosis, es capaz de consumir grandes cantidades de poliestireno en pocos minutos y beneficiarse. Las

larvas de *Zophobas morio* son una solución ambiental, ya que, esta especie nos permite reducir significativamente grandes cantidades la contaminación por parte del plástico.

2.2.10. IMPACTO DEL ZOPHOBAS MORIO AL AMBIENTE

Científicamente las larvas frente a los materiales de plástico, son consideradas como una suerte de pequeñas plantas de reciclaje, que degradan este material plástico con su boca para luego alimentar a las bacterias presentes en su intestino. Las características del estómago de estas larvas podrían ayudar a resolver la problemática más grave en la economía global, que generó aproximadamente 360 millones de toneladas de plástico en 2018, material que a menudo termina en los océanos y causa un fuerte impacto en los ecosistemas (Naturaleza y medio Ambiente, 2022).

Uno de los mayores experimentos realizados hasta la actualidad es cuando se introdujo 50 gusanos de harina en una cámara con Tecnopor, llegando estas larvas a consumir el 70% del Tecnopor en un periodo de 21 días. Entonces podemos decir que, si aplicamos este método con mayores cantidades de larvas y en entornos más amplios con Tecnopor, sería una alternativa para dar inicio al reciclaje con ausencia de antecedentes. En los últimos tiempos, los plásticos constituyen el 85% de los desechos que llegan a parar a los océanos. En otras cifras, entre 23 y 37 millones de toneladas de poliestireno son desechados al mar por año y, es triste decir que estas cifras van en aumento ya que estos materiales pueden tardar entre 100 y 1,000 años para descomponerse en su totalidad (Risso, 2022).

2.2.11. LOS ZOPHOBAS MORIO SE ALIMENTAN DE PLÁSTICO

Durante miles de años convivimos con el *Zophobas Morio* sin darnos cuenta de las particularidades beneficiosas que tiene, pero en Filipinas, un equipo de estudiantes del Instituto Ateneo de la Universidad de Manila en el año 2016, descubrieron que estas larvas tenían la capacidad de comer o degradar el hule espuma de

poliestireno. A partir de este descubrimiento se empezó a dar importancia a estos gusanos en temas de reciclaje y descomposición de residuos, especialmente donde se incluyen plástico. En el 2016, un equipo de investigadores de la Facultad de Química y Biociencias Moleculares de la Universidad de Queensland, en Australia, que estuvo a cargo del microbiólogo Chris Rinke, obtuvo otro avance en este estudio. Es decir, que la especie del gusano de harina no solo puede subsistir al comer exclusivamente poliestireno, adicional a ello gana energía al momento de comerlo (Risso, 2022).

2.2.12. BIODEGRADACIÓN DEL PLÁSTICO

Según Roldán (2023) la biodegradación del plástico es un proceso en que ciertos microorganismos alcanzan la mineralización de las estructuras orgánicas de los residuos, proceso que pueden ser periodos de corto plazo y asu vez muy beneficioso y aprovechable, puesto que se obtiene energía y nutrientes. Aquellos residuos de plástico que pueden ser biodegradados por microorganismos son denominados plásticos biodegradables. En ellos, la degradación y descomposición se lleva a cabo en forma de materia orgánica y minerales.

La biodegradación de plástico por larvas de insectos es la capacidad de devorar y biodegradar diferentes tipos de plásticos. Los gusanos de la harina (*Tenebrio molitor*) son muy efectivos al consumer plasticos, cuando no poseen alimento alguno y solo tienden a estar en dieta a base de polietileno (PE, poliestireno (PS), polipropileno (PP) e incluso cloruro de polivinilo (PVC). Estos materiales son masticados por las larvas y, una vez que llegan al intestino, las enzimas producidas por los microorganismos que conforman su microbiota intestinal se encargan de descomponerlos en fragmentos de bajo peso molecular y fácilmente biodegradables (Vílchez y Rodas, 2022).

2.2.13. PROCESO DE BIODEGRADACIÓN DEL PLÁSTICO

Segun Instituto Tecnológico del Plástico (2023) para dar comienzo a la biodegradacion de los plásticos, estos se colonizan en la superficie del material plastico,todos estos microorganismos se encuentran presentes en el medio o son agregados intencionalmente, los microorganismos utilizan el plástico como fuente de nutrientes; una vez colonizado el material plástico proceden a liberar enzimas para poder romper enlaces del material plástico y fragmentarlos en trozos más pequeños, una vez fragmentado el material plástico los microorganismos pueden absorber fuentes de carbono y energía para su crecimiento y metabolismo. Durante este proceso, los polímeros de plástico se descomponen en unidades más simples, como oligómeros y monómeros que son usados como sustratos para las vías metabólicas dentro de las células microbianas, donde se descomponen aún más en productos finales, como dióxido de carbono, agua y biomasa. Para saber que se dió la biodegradación completa del plástico, temenos que tener presente la transformación de los componentes del plástico en compuestos que pueden ser reintegrados en los ciclos naturales, cerrando así el ciclo de vida del material. También se debe tener en cuenta que la duración y eficiencia de cada etapa de biodegradación pueden variar según factores como la composición del plástico, la disponibilidad de microorganismos degradadores y las condiciones ambientales.

2.2.14. BIODEGRADACIÓN DE PLÁSTICOS POR LARVAS DE LA CERA

Segun Rodríguez et al. (2020) afirma que emplear insectos en el tratamiento contra los polímeros plásticos con el fin de minimizarlos no es un procedimiento factible para grandes cantidades; sin embargo, señala que la investigación en esta área debería incentivarse a gran escala, pues esto respresentaria una altenativa muy novedoso y amigable con el medio ambiente, ya que, considerando la gran

diversidad de estas familias de insectos, es muy probable que existan especies cuya capacidad para biodegradar estos polímeros aún no haya sido descubierta. Además, las técnicas moleculares modernas como la metagenómica, proteómica o metabolómica, así como las técnicas de ingeniería genética actuales abren un abanico de oportunidades para la identificación y mejoramiento de las bacterias entéricas de estos organismos y para el aislamiento y producción heteróloga de proteínas que estén directamente involucradas en los procesos de biodegradación de estos compuestos.

2.2.15. LARVAS QUE ROMPEN EL POLIETILENO (PE)

Según Bertocchini (2022) la larva del tipo de insectos lepidóptero de nombre *Galleria mellonella*, también conocido como gusano de la cera, presenta características beneficiosas en la degradación del plástico, descubriéndolo en su manipulación de colmenas y panales, siendo las larvas consideradas una plaga que infecta las colmenas, por ello, para poder impedir que las larvas infecten al panal los separó en una bolsa de plástico comercial común, al poco tiempo para su sorpresa la bolsa estaba llena de agujeros, esto aumentó su interés por estas larvas ,y lo que siguió fue analizarlos en laboratorio y así descubriendo la capacidad degradativa que tienen estas larvas frente a los plásticos .

Según Bertocchini (2022) el insecto más rápido entre muchos capaces de degradar el plástico es la larva del insecto lepidóptero, también llamado gusano de la cera, pues estas larvas pueden degradar el poliestierro en 40 minutos desde su exposición. Estas larvas viven en la colmena, excavando túneles dentro del panal de miel y dejando tras de sí un hilo de filamento que producen constantemente, alimentándose de todo lo que encuentran en ese entorno, como larvas de abeja, polen o cera. Entonces podríamos decir que existen similitudes en la estructura química de la cera y el plástico.

2.2.16. BIODEGRADACIÓN DE PLÁSTICOS CON EL USO DE LARVAS DE HARINA (COLEOPTERA: TENEBRIONIDAE)

Según Rodríguez et al. (2020) menciona que las larvas de las especies de escarabajo de la familia tenebrionidae reciben el nombre común de gusanos de la harina, de estas especies cuatro destacan por su capacidad para consumir polímeros plásticos: las del escarabajo amarillo (*Tenebrio molitor*), del escarabajo negro (*Tenebrio obscurus*), del escarabajo castaño (*Tribolium castaneum*) y las del escarabajo gigante (*Zophobas atratus*). Estas especies son originarias de Europa y actualmente se encuentran distribuidas a escala global, estas larvas fueron temas de investigación en diversos estudios científicos sobre la degradación del poliestireno, cuyos resultados fueron que, las larvas logran una degradación eficiente del poliestireno cuando se combinan con otras enzimas; por ello se requiere de mayor investigación para comprender con más profundidad los mecanismos bioquímicos de la degradación de este polímero plástico con estas larvas.

2.2.17. PLÁSTICO

El Plástico es la palabra usada para referirse a una serie de elementos de estructura molecular y características físico-químicas parecidos, el cual poseen la particularidad de ser muy elásticos y flexibles durante un intervalo de temperaturas, tolerando así su moldeado y adaptación a diversas formas. Este nombre proviene de su eminente facilidad para adquirir ciertas formas (Editorial Etecé, 2024).

Según Buteler (2019) define al plástico como:

Un polímero sintético simple formado por pequeñas moléculas (monómeros, ver Glosario) unidas en una formación repetitiva. Es extremadamente versátil, con propiedades que van desde resistencia a la corrosión, peso ligero, transparencia, hasta la flexibilidad y durabilidad. Los tipos más comunes de plástico incluyen el tereftalato de polietileno (PET), el polietileno (PE), el

polipropileno (PP), el poliestireno (PS) y el cloruro de polivinilo (PVC). (p.56)

2.2.17.1. CONTAMINACIÓN POR PLÁSTICO

Los residuos o comunmente llamados basuras de plástico son divididos en dos grupos, los macro y microplásticos, con longitudes mayor a 5mm y menor a 5mm de longitud respectivamente, estos con el paso del tiempo se fragmentan, degradan, y desintegran, y por lo tanto permanece en el ambiente a medida que se va haciendo cada vez más pequeño. Los plásticos pueden adsorber y acumular otros compuestos tóxicos y contaminantes del ambiente. Además, hay evidencia de que los organismos acuáticos acumulan compuestos químicos luego de la ingestión de plástico, es decir el impacto de los microplásticos es más difícil de evaluar, porque no causan mortalidad directa en la mayoría de los organismos que los ingieren. Sin embargo, los aditivos del plástico y la presencia de otros contaminantes adsorbidos en su superficie podrían incrementar su toxicidad (Buteler, 2019).

La contaminación producida por los residuos del plástico son temas alarmantes para la salud humana y el medio ambiente, ya que la producción de plástico es descontrolada y para poder desecharlos es un problema que escapa de las manos a casi todas las naciones del mundo. Esta contaminación por plásticos tiene mayor inminencia en los países sub desarrollados, pues el sistema de recolección, traslado y disposición final son ineficaces e inexistentes. Por el contrario en el mundo desarrollado, sobre todo países que presentan altas tasas de reciclaje, también presentan problemas a la hora de recoger los desechos plásticos de forma adecuada. Los residuos plásticos están en cada rincón del planeta tierra, y esto da iniciativas para lograr un tratado global negociado por Naciones Unidas en contra de esta problemática mundial (Parker, 2019).

Hoy en día uno de los problemas graves en contra del medioambiente es la acumulación de los residuos plásticos, pues estos representan una amenaza para la biodiversidad y para todo tipo de fauna, el plástico hoy en día se encuentra por casi todo el planeta hasta en sitios inaccesibles (Rodríguez, 2019).

Figura 3

contaminación por plástico



Nota. La contaminación plástica en los océanos está alcanzando niveles alarmantes. Tomado de (Flickr, 2024).

2.2.17.2. CIFRAS DE USO DE PLÁSTICOS EN EL MUNDO

Según MINAM (2017) en el mundo se usan aproximadamente 10 millones de bolsas por cada minuto, llegando a verterse cerca de 8 millones de toneladas de plásticos en los océanos, generando daños físicos a la fauna marina. A nivel mundial el 50% de los residuos plásticos son de un solo uso.

De acuerdo a ONU (2021) el plástico representa el 85% de los residuos que llegan a los océanos y advierte que, para 2040, los volúmenes de este material que fluirán hacia el mar casi se triplicarán, con una cantidad anual de entre 23 y 37 millones de toneladas. Esto significa alrededor de 50 kg de plástico por metro de costa en todo el mundo.

2.2.17.3. CIFRAS DE USO DE PLÁSTICOS EN EL PERÚ

Según MINAM (2017) el uso de plásticos en el Perú anualmente son de 30 kilos de plástico por ciudadano, llegando a sumar cerca de 3 mil millones de bolsas plasticas, aproximadamente 6 mil bolsas por minuto, las ciudades que mas generan residuos plásticos son Lima Metropolitana y el Callao, generando 866 toneladas de residuos plásticos al día, representando el 46 % a nivel nacional.

Según La República (2023) el Perú logra generar 1.2 millones de toneladas de residuos plásticos anualmente, de estos solo el 10% de residuos plásticos se recicla y tienen una disposicion final adecuada mientras que el resto termina en ríos, mares y tierra.

2.2.17.4. TIPOS DE PLÁSTICOS

Segun National Geographic (2024) los 7 tipos de plásticos que existen en el mundo son:

- Tereftalato de polietileno (PET)
- Polietileno de alta densidad (PEAD)
- Policloruro de vinilo (PVC)
- Polietileno de baja densidad (LDPE)
- Polipropileno (PP)
- Poliestireno (PS)
- La séptima categoría incluye otros tipos de plásticos, cuyos componentes no se conocen del todo.

Tabla 1*Clasificación de los plásticos*

Nombre	Abreviación	Usos	Reciclable
Tereftalato de polietileno	PET	Botellas de agua, bandejas, cuerdas, peines, blíster	sí
Polietileno de alta densidad	PEAD	Botellas de zumo y leche, bolsas de compra, botes de champú, botes de detergente	sí
Policloruro de vinilo	PVC	Tuberías, blísters, bandejas, zapatillas, canalones, marcos de ventanas, tarjetas de crédito	sí, pero no en su totalidad
Polietileno de baja densidad	LDPE	Botellas de miel, bolsas de comida congelada, film, tapas flexibles de contenedores	sí, pero con dificultad
POLIPROPILENO	PP	Pañales, tupperes, envases, botes de yogur, platos y vasos desechables	difícilmente
Poliestireno	PS	Vasos de café, bandejas, blísters	sí, en otros envases
OTROS	--	CDs de plástico, biberones, gafas	no

Nota. Estos son los 7 tipos de plásticos que existen en el mundo y los objetos cotidianos en los que se encuentran. Adaptado de Medio ambiente, NATIONAL GEOGRAPHIC, 2024, www.nationalgeographicla.com

Para lograr entender mejor la degradación de los plásticos primero se debe conocer las propiedades y el comportamiento de los polímeros, es por ello que, Posada (1994) menciona que los polímeros son todo tipo de plásticos y elastómeros, llegando a estar constituidos

por macromoléculas de origen natural (plantas, animales, celulosa, lana y asbesto), y los creados artificialmente a base de productos petroquímicos o silicona (p. 67).

Según Posada (1994) la degradación se da cuando ocurre cambios indeseables en las propiedades de los materiales. En el caso de los polímeros suelen ser afectados física, química y mecánicamente. La interacción física que se lleva entre el material y el medio se refiere a los efectos de las fuerzas mecánicas y las radiaciones libres en el medio , por otro lado las interacciones químicas de los materiales con el medio suelen darse de forma directa e indirecta, para el primer caso se da cuando los átomos del material reaccionan con las especies químicas constituidas en el medio ya sean naturales o contaminantes , y la reacción química indirecta se da cuando los materiales absorben y adsorben especies químicas. Además, señala que todos los polímeros al estar en temperaturas igual o mayor que los 200°C se funden o descomponen.

Según Rodríguez (2019) el plástico por las propiedades y particularidades que tienen, tanto físicas y químicas, son duraderas y difíciles de degradar por los microorganismos que se encuentran en la naturaleza, los plásticos pueden estar presentes casi intacto durante siglos, es por ello que, la degradación del plástico es una poderosa fuente de gases de efecto invernadero, ya que estos liberan una variedad de sustancias químicas durante su degradación causando un impacto negativo en los organismos y ecosistema, gracias a la liberación de metano y etileno, dos potentes gases a la hora de generar efecto invernadero. Por ejemplo, el polietileno, que se usa para fabricar bolsas de compras, es el polímero sintético más producido y descartado a nivel mundial, pues estos generan en gran cantidad ambos gases, del mismo modo, descubrieron que los materiales de polietileno de baja densidad (LDPE) utilizados para almacenar alimentos, textiles, materiales de construcción y diversos artículos de plástico que acaban en el océano,

pueden seguir emitiendo gases de efecto invernadero incluso una vez dejan de recibir la luz del sol.

Según Roper (2024) el tiempo para que se suceda la degradación del plástico varía de acuerdo a muchos factores, como el tipo de plástico utilizado, pues algunos plásticos, como el polietileno de alta densidad (HDPE) y el polipropileno (PP), son más resistentes a la degradación y pueden tardar cientos de años, como también los residuos plásticos como el poliestireno (PS) y el polietileno de baja densidad (LDPE) se degradan con más facilidad y rapidez. Otro factor que influye en el tiempo de degradación del plástico es cuando están expuestos a la luz solar, pues estos plásticos al estar expuestos a la radiación ultravioleta del sol tienden degradarse con mayor rapidez respecto a los otros residuos plásticos que son protegidos de la luz. Otro factor que influye directamente en la degradación de los plásticos es la temperatura, pues a más alta sea la temperatura más rápido es el proceso de descomposición, mientras que las bajas temperaturas pueden hacer que sea más lento la degradación. Otro factor muy importante en la degradación es la presencia de oxígeno y microorganismos, puesto que existen algunos plásticos que son biodegradables y pueden descomponerse más rápidamente en presencia de microorganismos y oxígeno.

2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES

- **Evaluación**

La evaluación se entiende dependiendo de las necesidades, propósitos u objetivos del campo de estudio, tales como: el control y la medición, el enjuiciamiento de la validez del objetivo, la rendición de cuentas, por citar algunos propósitos. Desde esta perspectiva se puede determinar en qué situaciones educativas es pertinente realizar una valoración, una medición o la combinación de ambas concepciones (Mora Vargas, 2004).

- **Eficacia**

Es cuando se logra alcanzar los objetivos y metas planteados, es decir, que los resultados se alcanzaron convenientemente al plan, entonces la eficacia se basa en concentrar los esfuerzos de una entidad en las actividades y procesos que realmente deben llevarse a cabo para el cumplimiento de los objetivos formulados (Mejía C., 1998).

- **Eficiencia**

Según la RAE (2023) la eficiencia es la capacidad de lograr los resultados deseados con el mínimo posible de recursos utilizados, es decir en términos sencillos, significa obtener el máximo resultado posible con la menor cantidad de recursos.

- **Degradación**

La degradación es la descomposición de las moléculas grandes en moléculas más pequeñas, llegando a ser el resultado de la acción del calor, humedad, exposición al sol (Buteler, 2019), como también la degradación es cuando sufre cambios en la homeóstasis de un sistema, de tal forma que hay una reducción en su productividad (Fernandez, 1996).

- **Biodegradación**

La Biodegradación es cuando cierto tipo de sustancias tienen la capacidad de descomponerse en determinados elementos químicos, llegando a formar parte de los compuestos del suelo, la biodegradación está vinculada directamente con el medio ambiente, ya que la biodegradación permite reutilizar algunas sustancias muy importantes para desarrollar otros materiales (Rodríguez, 2021).

- **Larva**

Según Ricardo (2023) la larva es la etapa más temprana en el desarrollo de un animal en la que no se parece en nada al adulto, para llegar a la etapa de la adultez, la larva debe sufrir una metamorfosis, o una serie de cambios.

- **Metamorfosis**

La metamorfosis es la alteración radical y/o violenta que ocurre en algunos organismos de forma corporal durante su desarrollo posterior al nacimiento, donde se produce el cambio de una etapa larval a una etapa juvenil, o de ésta a una etapa adulta (Lira , 2023).

- **Contaminación Ambiental**

La contaminación ambiental o atmosférica es provocada por la presencia de agentes (físico, químico o biológico) o una combinación de estos agentes en el medio ambiente, de distintas formas y concentraciones, llegando a ser nocivos para la salud, para la seguridad y el bienestar de la población, o puedan poner en riesgo a los seres vivos en general (Moreno y Palacios, 2022).

- **Estireno**

Es un hidrocarburo utilizado como materia prima para la producción de una gran variedad de polímeros y copolímeros (Laffon, 2001).

- **Poliestireno expandido (EPS).**

Es un material químicamente inerte, es decir, que pertenecen a los no biodegradables, es decir, que no se descompone, no se desintegra, no desaparecen en el medio ambiente, y no contiene CloroFluoroCarburos (CFC), por consiguiente, no puede químicamente contaminar el suelo aire o agua (Martínez y Canepa, 2013).

- **Residuos sólidos**

Todos aquellos materiales que usamos cotidianamente y a los cuales se les acaba el uso se denominan residuos, llegando a convertirse en un producto inservible sin ningún valor económico, estos productos pueden ser arrojados en vertederos o pueden reciclarse para alargar su nivel de vida (López, 2019).

2.4. HIPÓTESIS

2.4.1. HIPOTESIS GENERAL

H1: Las larvas de *Zophobas morio* presentan eficiencia degradativa significativa en la biodegradación del poliestireno expandido en condiciones controladas.

H0: Las larvas de *Zophobas morio* no presentan eficiencia degradativa significativa en la biodegradación del poliestireno expandido en condiciones controladas.

2.4.2. HIPOTESIS ESPECIFICAS

H1a: Las larvas de *Zophobas morio* muestran una eficiencia degradativa significativa en la biodegradación del poliestireno durante los primeros 15 días de exposición.

H0a: Las larvas de *Zophobas morio* no muestran una eficiencia degradativa significativa en la biodegradación del poliestireno durante los primeros 15 días de exposición

H1b: Las larvas de *Zophobas morio* incrementan su eficiencia degradativa en la biodegradación del poliestireno cuando el periodo experimental se amplía a 30 días.

H0b: Las larvas de *Zophobas morio* no incrementan su eficiencia degradativa en la biodegradación del poliestireno cuando el periodo experimental se amplía a 30 días.

H1c: El poliestireno presenta una reducción significativa de masa como consecuencia del proceso de biodegradación realizado por las larvas de *Zophobas morio*.

H0c: El poliestireno no presenta una reducción significativa de masa como consecuencia del proceso de biodegradación realizado por las larvas de *Zophobas morio*

H1d: H1d (Hallazgo Descriptivo Esperado): Las larvas de Zophobas morio mantienen una tasa de supervivencia elevada (superior al 90%) y una mortalidad reducida durante el proceso experimental.

2.5. VARIABLES

2.5.1. VARIABLE INDEPENDIENTE

Exposición de las larvas de Zophobas morio al poliestireno

2.5.2. VARIABLE DEPENDIENTE

Eficiencia degradativa del poliestireno.

2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Tabla 2

Operacionalización de variables

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	INTRUMENTO/ TÉCNICA
V. Independiente Exposición de las larvas de Zophobas morio al poliestireno	Zophobas morio, es una especie de larvas quienes resultan muy útiles en la alimentación de animales, especie manipulado para observar el efecto que produce en la variable dependiente (Mondragon, 2021).	La manipulación de la variable independiente se realizó variando la cantidad de larvas (0, 50, 70, 100) y el tiempo de exposición (15, 30 días), con 10g de poliestireno constante	Cantidad de larvas Tiempo de exposición	Numero de larvas (unidades) Periodo de tiempo (días)	Técnica: Observación y conteo Instrumentos: calendario
V. Dependiente Eficiencia degradativa del poliestireno	La eficiencia degradativa del poliestireno es la capacidad que las larvas de Zophobas morio transforman o reducen la masa del poliestireno expandido, (Adaptado de Academia Lab, 2025).	La eficiencia degradativa se medirá a través de la reducción porcentual de la masa inicial del poliestireno (10g) y la tasa de supervivencia de las larvas.	Reducción de masa del poliestireno Tasa de supervivencia de las larvas	Masa inicial (gr) Masa final (gr) Número de larvas vivas (un) Número de larvas muertas (un)	Instrumento: Balanza de precisión Técnica: Conteo
V. Control	Factores que se mantienen constantes para garantizar la validez y pureza del experimento.	Asegurar la homogeneidad del diseño experimental manteniendo constantes los factores ambientales y biológicos que puedan afectar el resultado.	Características del sustrato Características del ambiente experimental Características biológicas de las larvas	Tipo de Poliestireno: P. Expandido Masa inicial del poliestireno: 10 gr Dimensión del recipiente: 20x20x25 Iluminación: natural P	Instrumento: Balanza de precisión Técnica: pesaje Técnica: observación y medición Instrumento: cinta métrica Técnica: observación y selección manual

CAPÍTULO III

MÉTODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

La presente investigación es de tipo aplicada, dado que, según Hernández (2014) este tipo de investigación busca la resolución de un problema práctico y de relevancia social. El presente estudio se enfoca en evaluar una alternativa ambientalmente viable para reducir el problema ambiental de la acumulación de poliestireno (tecnopor) a través de un proceso de biodegradación asistido por las larvas de *Zophobas morio*.

El presente estudio se clasifica de forma más detallada siguiendo la taxonomía de la investigación propuesta por Supo y Zacarías (2020), la cual permite una categorización precisa de su diseño metodológico:

El criterio según la intervención del investigador, el presente estudio es con intervención porque es un estudio experimental que pretende evaluar la variable independiente sobre la variable dependiente.

El criterio según la cantidad de mediciones de la variable en estudio es de tipo longitudinal porque se realizará 2 mediciones, un pretest y un post test, del cual se obtendrá datos iniciales y finales.

El criterio según la cantidad de variables analíticas; es de tipo analítico porque se trabajará con 2 variables, y se analizará como la manipulación de la variable independiente influye en la variable dependiente.

El criterio según la planificación de las mediciones, es prospectivo porque el trabajo se desarrollará con datos que se recolectará desde un inicio por el investigador.

3.1.1. ENFOQUE

Según Supo y Zacarías (2020) el presente estudio es de enfoque cuantitativo, ya que se va a comprobar y verificar la hipótesis planteada

mediante los datos recolectados, esto se realizará a base de análisis estadísticos y mediciones numéricas de variables.

3.1.2. ALCANCE O NIVEL

Los niveles en una investigación cuantitativa conforman los siguientes: aplicativo, predictivo, explicativo, relacional, descriptivo y exploratorio.

El presente estudio corresponde al **nivel explicativo**, porque se analiza la influencia de la variable independiente (exposición de las larvas de *Zophobas morio* al poliestireno) sobre la variable dependiente (eficiencia degradativa del poliestireno), permitiendo comprender la relación causa–efecto entre ambas (Supo y Zacarías, 2020).

3.1.3. DISEÑO

En las investigaciones de Supo y Zacarías (2020), el diseño del trabajo que se está investigando, está conformado por los siguientes experimentos: el preexperimental, cuasiexperimental y experimento puro. En el preexperimental, Donde el investigador solo es sometido a la observación. En el cuasi experimento, solo se realiza única intervención y dos observaciones (un pre y otro post intervención) en el conjunto experimental por parte del investigador. El experimento verdadero compone más de un conjunto experimental y se realiza dos o más observaciones, ya sea antes y después de su intervención.

El presente estudio corresponde al diseño de cuasiexperimental, porque se va realizar dos observaciones, uno al inicio y otro al final, además la intervención de la larva será una sola vez en cada unidad de análisis.

En este esquema se explica el diseño del cuasiexperimental que será ejecutado:

GE 15: O1	Xa	O2
GC15: O1	-	O2
GE30: O1	Xa	O2

GC30: O1 - O2

Donde:

GE15: Grupo experimental 15 días

GC15: Grupo control sin tratamiento (15 días)

GE30: Grupo experimental 30 días

GC30: Grupo control sin tratamiento (30 días)

Xa: Intervención (exposición de las larvas al poliestireno)

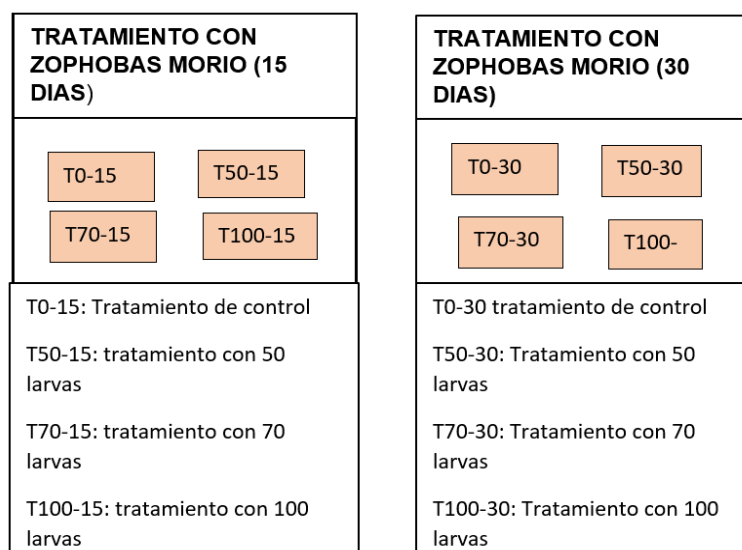
O1: Observación 1 (Pre- Test)

O2: Observación 2(Pos-Test)

(-): Ausencia de intervención

Figura 4

Diseño de distribución



Nota. Distribución de cada recipiente a tratar de ambos grupos, 2 grupos de control y 6 grupos experimentales.

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.2.1. POBLACIÓN

La población del estudio estuvo conformada por el universo de larvas de *Zophobas morio* en fase larvaria, provenientes de un criadero controlado en la ciudad de Arequipa. Para garantizar la fiabilidad del

experimento, la población de estudio se limitó a aquellos individuos que cumplieran con indicadores de buena salud y alta actividad biológica al inicio del ensayo, asegurando su capacidad metabólica óptima para el proceso de biodegradación.

Tabla 3
Coordenadas UTM WGS-84

Coordenadas UTM	
Posición	18 L
Este	365534.00
Norte	8903608.50

Nota. Coordenadas UTM del lugar de ejecución

3.2.2. MUESTRA

La muestra estuvo constituida por 440 larvas de *Zophobas morio*, seleccionadas mediante un muestreo no probabilístico por conveniencia, y distribuidas en grupos de tratamiento de 50, 70 y 100 larvas, más un grupo control (0 larvas), para los períodos de 15 y 30 días.

Las Unidades Experimentales estuvieron conformadas por 80 gramos de poliestireno expandido (tecnopor). Este material de ensayo se segmentó en porciones individuales de 10 gramos y se asignó a cada grupo de tratamiento, incluyendo el grupo control, para la medición precisa del consumo y la eficiencia de la biodegradación.

Tabla 4
Circunscripción temporal de la investigación

Circunscripción Temporal	
Fecha inicio	Julio 2024

Fecha final	Agosto 2024
Año	2024

Nota. Esta tabla muestra las fechas en las que se llevara a cabo la investigación

3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.3.1. PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS

- **TÉCNICAS**

La técnica usada en esta investigación fue la observación y pesaje, técnicas fundamentales que ayudarán con la obtención de datos reales, para evaluar las características y el comportamiento de las larvas *Zophobas morio* en la biodegradación del poliestireno.

- **INSTRUMENTOS**

Se emplearon diversos instrumentos como; balanza de precision con certificado de calibración, fichas de observación, cuaderno de registros de campo, quienes facilitarán la elaboración de matrices para determinar el resultado de análisis de laboratorio. También se usaron equipos como termómetro y camaras fotográficas.

Tabla 5

Tecnicas e instrumentos para la recoleccion de datos

Variable	Indicadores	Técnicas	Instrumentos
Exposición de las larvas de <i>Zophobas morio</i> al poliestireno	▪ Tasa de mortandad ▪ Consumo de poliestireno ▪ Tiempo de tratamiento	Observación	-camara fotográfica, fotográfica, termómetro - cuaderno de campo y fichas

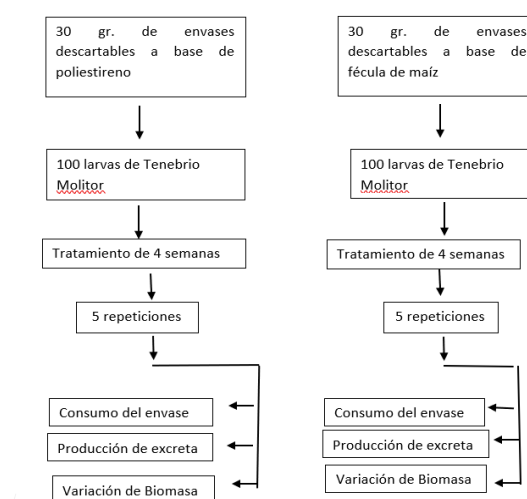
Eficiencia degradativa del poliestireno		Parámetros físicos	
		▪ Masa inicial y final (gr)	Observación
		▪ Temperatura (°c)	
			- Balanza analítica - Camara fotografica, termómetro

Nota: Resumen de técnicas e instrumentos de medición según indicadores a evaluar en la biodegradación.

A manera de ejemplo en la tesis que fue ejecutado por Rivera (2023), se desarrolló los siguientes pasos:

Figura 5

Procedimiento de ejecución de tesis de Rivera (2023)



Nota: Diagrama con los pasos para ejecución de la investigación de tesis de (Rivera, 2023).

• PROTOCOLO DE DESARROLLO DEL ESTUDIO

Las larvas de *Zophobas morio* fueron adquiridos de un criadero de insectos larvarios de la ciudad de Arequipa, seleccionados y separados en los grupos de estudio (0, 50, 70 y 100 larvas) para cada período de tiempo.

Se utilizó poliestireno expandido (tecnopor) fragmentado manualmente en trozos pequeños para asegurar la máxima superficie de contacto. Se pesaron 10 gramos de este material en una balanza de precisión, por cada recipiente de vidrio.

El recipiente donde se desarrolló el tratamiento, fue de material de vidrio, con las siguientes medidas: 25 cm de altura, con un ancho de 40 cm y con un largo de 80 cm. Los recipientes se ubicaron en un cuarto con ventilación natural, en el primer piso y con vista a la calle principal, para asegurar la homogeneidad de las condiciones ambientales,

1. De los 08 recipientes, se designó 4 para el tratamiento del primer grupo (GE15) y 04 para el tratamiento del segundo grupo (GE30).
2. Se procedió al etiquetado de cada recipiente con sus respectivos nombres y cantidad de larvas de acuerdo a lo solicitado.
3. En los 08 recipientes de 20x20x25 cm, se colocaron 10 gramos de poliestireno (Tecnopor). Haciendo un total de 80 gramos de poliestireno.
4. En el primer grupo de control solo se añadió 10 gr de tecnopor y 0 larvas.
5. En los demás recipientes se añadirá 50, 70 y 100 larvas de *Zophobas morio* en cada uno respectivamente con 10 gr de poliestireno expandido.
6. Se procederá a cubrir con una tela y un sujetador, para que las larvas puedan oxigenarse.
7. Se realizará un seguimiento diario para observar el consumo del poliestireno y la supervivencia de las larvas.
8. Al finalizar cada período de tiempo (15 y 30 días), se retirará las larvas y los residuos sólidos del poliestireno de cada recipiente. Estos residuos se pesaron en la misma balanza de precisión.

9. La eficiencia de la biodegradación se calculó con la siguiente fórmula:

$$\text{Eficiencia}(\%) = \frac{(\text{consumo total})}{(\text{masa inicial})} \times 100$$

3.3.2. PARA LA PRESENTACIÓN DE DATOS

Para la presentación de los resultados, se utilizarán tablas y figuras que permitan una visualización clara y organizada de la información. Esta técnica facilitará la comprensión de los datos brutos, tales como la variación de la masa del poliestireno y la tasa de supervivencia de las larvas, lo que permitirá identificar de forma concisa el comportamiento de las variables a lo largo del tiempo.

3.3.3. TÉCNICAS PARA EL ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS.

El análisis de los datos se realizará en dos etapas. En primer lugar, se aplicará la estadística descriptiva para resumir la información de las variables mediante tablas de frecuencia y gráficos. Posteriormente, se hará uso de la estadística inferencial para la contratación de las hipótesis.

Para ello, se utilizaron las siguientes pruebas:

Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk: Esta prueba se aplicó para determinar si los datos de la investigación seguían una distribución normal. Se utilizó esta prueba porque es un requisito fundamental para el uso de pruebas paramétricas.

Prueba t de Student para muestras relacionadas: Esta prueba se aplicó para comparar la masa inicial y la masa final del poliestireno en los mismos grupos experimentales. Esto permitió determinar si la diferencia entre ambas mediciones era estadísticamente significativa y, por lo tanto, si la biodegradación se produjo por la acción de las larvas

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1. PROCESAMIENTO DE DATOS

Tabla 6

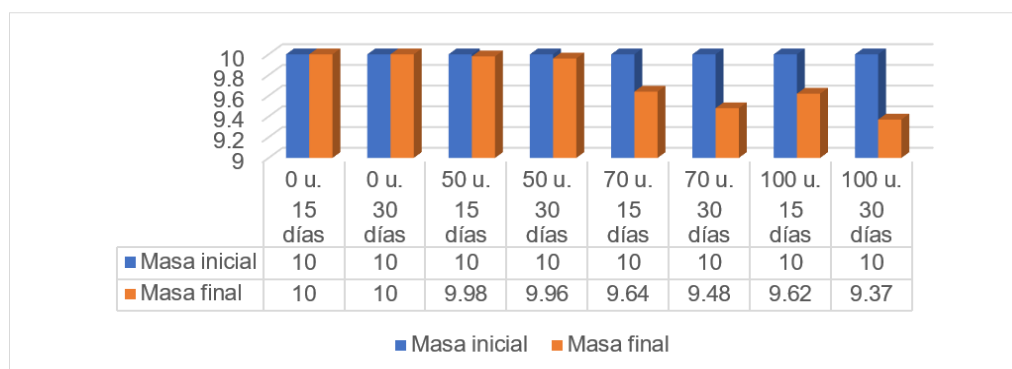
Descripción de la pérdida de masa del poliestireno mediante el uso del Zophobas Morio en la biodegradación del poliestireno

Tiempo	Grupo de estudio	Masa inicial	Masa final	% Variación
15 días	0	10	10	0%
30 días	0	10	10	0%
15 días	50	10	9.98	0.2%
30 días	50	10	9.96	0.4%
15 días	70	10	9.64	3.6%
30 días	70	10	9.48	5.2%
15 días	100	10	9.62	3.8%
30 días	100	10	9.37	6.3%

Nota. En la tabla 6 vemos la variación de masa del poliestireno a causa del consumo de larvas del Zophobas Morio en 15 y 30 días de tratamiento, en las que el consumo mayor se presenta en el Grupo de los 30 días con 100 larvas de tratamiento (0.63 g) y el menor consumo en el Grupo de 15 días con 50 larvas de tratamiento (0.02 g).

Figura 6

Descripción de la pérdida de masa del poliestireno mediante el uso del Zophobas Morio en la biodegradación del poliestireno



Nota: De la Figura 6 se evidencia que el consumo de poliestireno por parte de las larvas de *Zophobas morio* aumenta proporcionalmente con el número de larvas (50, 70 y 100) y con el tiempo de exposición (15 y 30 días), siendo mayor en los tratamientos con mayor cantidad de larvas y en el grupo evaluado a los 30 días.

Evaluación de la eficiencia: La eficiencia de larvas del *Zophobas morio* en la biodegradación del poliestireno, fue evaluado a través del consumo como dieta única, empleando la siguiente fórmula.

$$\text{Eficiencia}(\%) = \frac{(\text{consumo total})}{(\text{masa inicial})} \times 100$$

Tabla 7

Evaluación de la eficiencia en el consumo de P. expandido en 15 días

Tratamiento	Consumo de poliestireno (g)	
	Consumo total	Eficiencia (%)
T0	0	0
T1	0.02	0.2
T2	0.36	3.6
T3	0.38	3.8
Total	0.76	7.6
Promedio	0.19	1.9

Nota. De acuerdo con los datos presentados en la Tabla 7, se observa que el consumo de poliestireno por parte de las larvas de *Zophobas morio* alcanzó una eficiencia promedio de 1.9% en un periodo de 15 días.

Tabla 8

Evaluación de la eficiencia en el consumo de P. expandido en 30 días

Tratamiento	Consumo de poliestireno (g)	
	Consumo total	Eficiencia (%)
T0	0	0
T1	0.04	0.4
T2	0.52	5.2
T3	0.63	6.3
Total	1.19	11.9
Promedio	0.29	2.9

Nota. De acuerdo con los datos presentados en la Tabla 8, se observa que el consumo de poliestireno por parte de las larvas de *Zophobas morio* alcanzó una eficiencia promedio de 2.9% en un periodo de 30 días.

Tabla 9

Descripción de la tasa de supervivencia y mortandad del Zophobas morio en el proceso de biodegradación del poliestireno

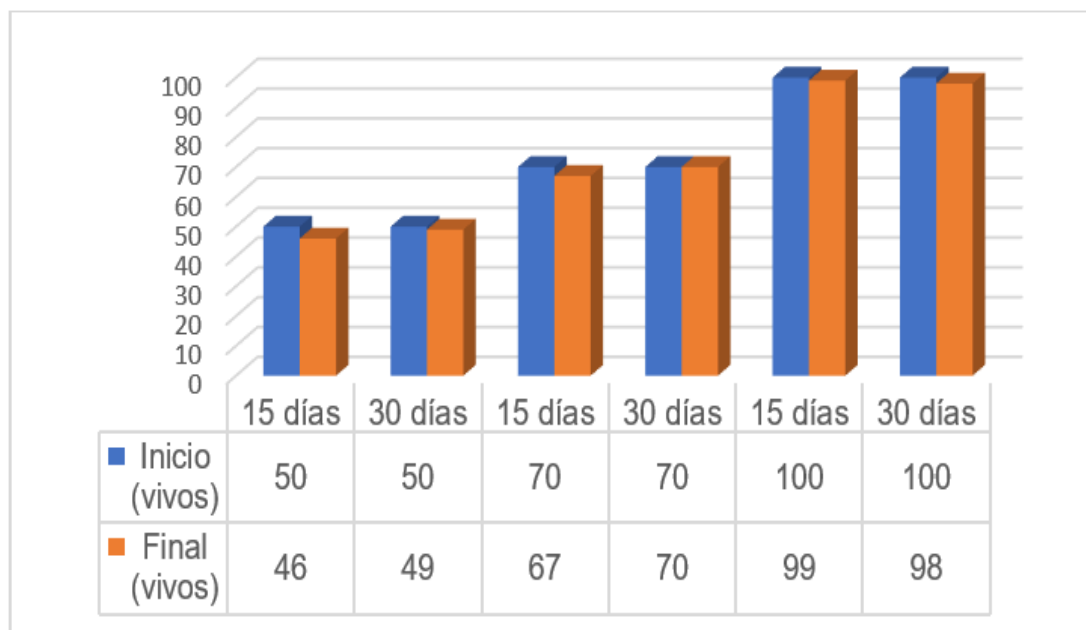
	Inicio (vivos)	Final (vivos)	Final (muertos)	% Mortalidad
15 días	50	46	4	8%
30 días	50	49	1	2%
15 días	70	67	3	4.3%
30 días	70	70	0	0%
15 días	100	99	1	1%
30 días	100	98	2	2%

Nota. La evaluación de la supervivencia de las larvas de *Zophobas morio* expuestas al poliestireno durante los períodos de 15 y 30 días arrojó una tasa general de supervivencia del **97.5%** (11 de 440 larvas de mortandad total). Las tasas se mantuvieron consistentemente superiores al 90% en todos los grupos de tratamiento, alcanzando un 100.0% de supervivencia en el grupo de 70 larvas a 30 días. Esta evidencia robustece la factibilidad biológica del método, al confirmar que la exposición al poliestireno no produce toxicidad

significativa ni reduce la resistencia de los individuos, lo cual es fundamental para la implementación del proceso

Figura 7

Descripción de la tasa de supervivencia y mortandad del Zophobas Morio en el proceso de biodegradación del poliestireno



Nota: Comparación del número de larvas vivas de Zophobas morio al inicio y al final de los tratamientos durante 15 y 30 días de exposición al poliestireno. Se observa una alta supervivencia en todos los tratamientos, destacando el grupo de 70 larvas a los 30 días, donde no se registró mortalidad.

Tabla 10

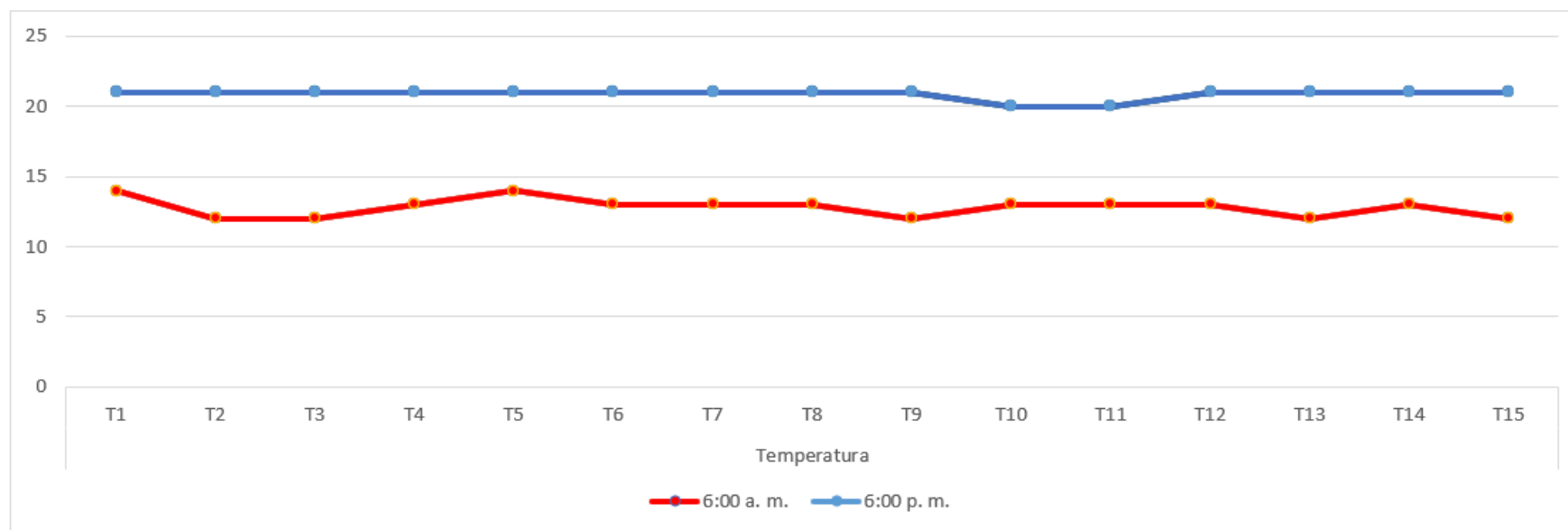
Descripción de la diferencia de temperatura del poliestireno evaluado en un periodo de 15 días, a las 6 am y 6 pm

Grupo	Horario	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15
0 u.	6:00 a.m.	14	12	12	13	14	13	13	13	12	13	13	13	12	13	12
50 u.		14	12	12	13	14	13	13	13	12	13	13	13	12	13	12
70 u.		14	12	12	13	14	13	13	13	12	13	13	13	12	13	12
100 u.		14	12	12	13	14	13	13	13	12	13	13	13	12	13	12
0 u.	6:00 p.m.	21	21	21	21	21	21	21	21	21	20	20	21	21	21	21
50 u.		21	21	21	21	21	21	21	21	21	20	20	21	21	21	21
70 u.		21	21	21	21	21	21	21	21	21	20	20	21	21	21	21
100 u.		21	21	21	21	21	21	21	21	21	20	20	21	21	21	21

Nota. En la Tabla 10 se presenta la Variación de temperatura del poliestireno registrado durante 15 días de tratamiento, en dos horarios (6:00 a.m. y 6:00 p.m.), según número de larvas (*Zophobas morio*) por tratamiento. Las temperaturas de las 6:00 a.m. fueron más bajas y relativamente constantes (12°C a 14°C), mientras que a las 6:00 p.m. se mantuvieron elevadas (20°C a 21°C) sin diferencias significativas entre tratamientos, lo que indica estabilidad térmica ambiental durante el experimento.

Figura 8

Descripción de la diferencia de temperatura del poliestireno evaluado en un periodo de 15 días, a las 6 am y 6 pm



Nota. En la gráfica se presentan las temperaturas registradas a las 6:00 a.m. y a las 6:00 p.m. durante quince mediciones consecutivas (T1–T15).

Tabla 11

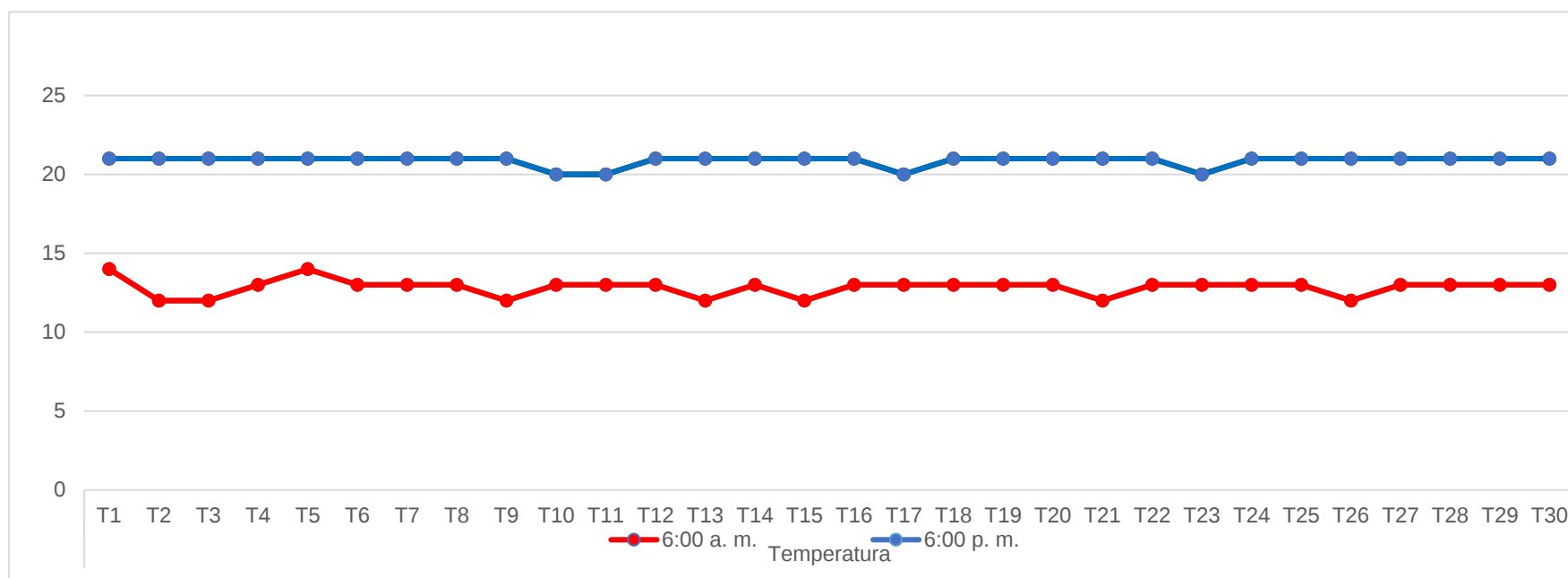
Descripción de la diferencia de temperatura del poliestireno evaluado en un periodo de 30 días, a las 6 am y 6 pm.

Grupo	Horario	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16	T17	T18	T19	T20	T21	T22	T23	T24	T25	T26	T27	T28	T29	T30
0 u.	6:00 a.m.	14	12	12	13	14	13	13	13	12	13	13	13	12	13	12	13	13	13	13	13	12	13	13	13	13	12	13	13	13	13
50 u.		14	12	12	13	14	13	13	13	12	13	13	13	12	13	12	13	13	13	13	13	12	13	13	13	13	12	13	13	13	13
70 u.		14	12	12	13	14	13	13	13	12	13	13	13	12	13	12	13	13	13	13	13	12	13	13	13	13	12	13	13	13	13
100 u.		14	12	12	13	14	13	13	13	12	13	13	13	12	13	12	13	13	13	13	13	12	13	13	13	13	12	13	13	13	13
0 u.	6:00 p.m.	21	21	21	21	21	21	21	21	21	20	20	21	21	21	21	21	20	21	21	21	21	21	20	21	21	21	21	21	21	21
50 u.		21	21	21	21	21	21	21	21	21	20	20	21	21	21	21	21	20	21	21	21	21	21	20	21	21	21	21	21	21	21
70 u.		21	21	21	21	21	21	21	21	21	20	20	21	21	21	21	21	20	21	21	21	21	21	20	21	21	21	21	21	21	21
100 u.		21	21	21	21	21	21	21	21	21	20	20	21	21	21	21	21	20	21	21	21	21	21	20	21	21	21	21	21	21	21

Nota. En la tabla 11 se presentan las temperaturas registradas a las 6:00 a.m. y 6:00 p.m. durante 30 días, para los tratamientos con 0, 50, 70 y 100 unidades. Las temperaturas matutinas oscilaron entre 12°C y 14°C, mientras que las temperaturas vespertinas se mantuvieron constantes entre 20°C y 21°C en todos los tratamientos. Estos valores muestran una estabilidad térmica diaria, sin variaciones significativas entre los distintos tratamientos, lo que indica que las condiciones ambientales fueron controladas y no influyeron de forma diferenciada en los resultados del experimento.

Figura 9

Descripción de la diferencia de temperatura del poliestireno evaluado en un periodo de 30 días, a las 6 am y 6 pm



Nota. La figura muestra la estabilidad térmica durante los 30 días del experimento. Las temperaturas a las 6:00 a.m. se mantuvieron entre 12°C y 14°C, y a las 6:00 p.m. entre 20°C y 21°C, sin variaciones significativas entre días ni tratamientos.

Tabla 12*Prueba de normalidad de los datos con Shapiro-WILK*

	Grupos	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Masa	15 días	,293	4	.	,776	4	,066
	30 días	,287	4	.	,835	4	,182

Nota. Según la prueba de normalidad utilizando el test de Shapiro-Wilk, los p-valores obtenidos (0.066 y 0.182) son superiores al valor convencional del nivel de significancia de 0.05 (5%), por lo que se puede concluir que los datos se asemejan o provienen de una distribución normal, por lo que es pertinente el uso de una prueba estadística paramétrica para el análisis de los datos.

Considerando los resultados de la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk aplicada a los datos de los grupos evaluados, se observa que estos cumplen con el supuesto de normalidad, requisito fundamental para la aplicación de pruebas estadísticas paramétricas. Al utilizar un nivel de significancia de 0.05, se constató que todos los valores de p obtenidos fueron superiores a dicho umbral ($p > 0.05$). Esto indica que no existen evidencias suficientes para rechazar la hipótesis nula de normalidad, por lo que se asume que los datos siguen una distribución normal.

Dado que se cuenta con mediciones independientes en los dos grupos evaluados (15 y 30 días) y que los datos cumplen con el criterio de normalidad, se determina como adecuada la aplicación de la prueba t de Student para muestras relacionadas.

4.2. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS Y PRUEBA DE HIPÓTESIS

El presente estudio tiene como objetivo central contrastar la Hipótesis General (H1) que postula la eficiencia degradativa de las larvas de *Zophobas morio* sobre el poliestireno expandido.

Hipótesis General a Contrastar:

- H1: Las larvas de *Zophobas morio* presentan eficiencia degradativa significativa en la biodegradación del poliestireno expandido en condiciones controladas.
- H0: Las larvas de *Zophobas morio* no presentan eficiencia degradativa significativa en la biodegradación del poliestireno expandido en condiciones controladas.

Para la evaluación, se estableció el **nivel de significancia (α) convencional del 5% (0.05)**. Las hipótesis se contrastaron utilizando la **Prueba t de Student para Muestras Relacionadas**, debido a que se compararon las mediciones de masa inicial y final del poliestireno en los mismos grupos experimentales, constituyendo datos emparejados. Esta prueba es adecuada para determinar si la diferencia entre ambas mediciones es estadísticamente significativa.

La siguiente tabla resume los resultados del análisis estadístico aplicado a la diferencia entre la masa final y la masa inicial del poliestireno:

Tabla 13

Resultados de la Prueba t de Student para Muestras Relacionadas (Masa Inicial vs. Final del Poliestireno)

	Media	Desviación estándar	Media de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia		t	gl	Sig. (bilateral)
				Inferior	Superior			
MasaFinal - Masainicial	-0.244	0.259	0.091	-0.460	-0.028	-2.666	7.000	0.032

El análisis estadístico arrojó un valor $t=-2.666$ con un nivel de significancia bilateral $p=0.032$.

Dado que el valor p obtenido (0.032) es **inferior al umbral de significancia** preestablecido ($\alpha=0.05$), se concluye que la probabilidad de que las diferencias observadas entre la masa inicial y la masa final hayan ocurrido por azar es inferior al 5%. En términos estadísticos, este resultado proporciona **evidencia suficiente para rechazar la Hipótesis Nula (H_0)**.

Por lo tanto, se **acepta la Hipótesis Alternativa (H_1)**, concluyendo que las larvas de *Zophobas morio* **sí presentan eficiencia degradativa significativa** en la biodegradación del poliestireno expandido en condiciones controladas. Este resultado respalda el objetivo general del estudio y confirma que la biodegradación realizada por las larvas representa un método efectivo para la reducción del poliestireno.

Contraste de Hipótesis específicas:

Las siguientes hipótesis específicas quedan respaldadas por el resultado estadísticamente significativo del contraste general ($p=0.032$):

- Las larvas de *Zophobas morio* muestran una eficiencia degradativa significativa en la biodegradación del poliestireno durante los primeros 15 días de exposición (La base del efecto observado).
- Las larvas de *Zophobas morio* incrementan su eficiencia degradativa en la biodegradación del poliestireno cuando el periodo experimental se amplía a 30 días (Confirmada por el aumento descriptivo de la eficiencia de 1.9% a 2.9% entre 15 y 30 días, según las Tablas 7 y 8).
- El poliestireno presenta una reducción significativa de masa como consecuencia del proceso de biodegradación realizado por las larvas de *Zophobas morio*. (Confirmada por el rechazo de H_0).

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo principal evaluar la eficiencia degradativa de las larvas de *Zophobas morio* en la biodegradación del poliestireno.

La aceptación de la Hipótesis Alternativa (H1) se valida mediante el resultado estadístico de $p=0.032$ (Tabla 13), lo cual confirma que las larvas de *Zophobas morio* sí presentan una eficiencia degradativa significativa en condiciones controladas. De acuerdo con los datos obtenidos (Tabla 6), se demostró que la masa del poliestireno disminuía progresivamente conforme se incrementaba tanto el número de larvas como el tiempo de exposición. El grupo tratado con 100 larvas durante 30 días presentó la mayor degradación, con una pérdida del 6.3% del material (equivalente a 0.63 g), mientras que la menor pérdida correspondió al grupo de 50 larvas en 15 días, con tan solo 0.02 g (0.2%). Evidenciando que los grupos control sin larvas no registraron ningún cambio en la masa, confirmando que la pérdida de masa del poliestireno fue exclusivamente gracias a la acción biológica de las larvas.

Los resultados que se obtuvieron en el presente estudio se vinculan con diversas investigaciones similares que emplearon insectos para la biodegradación del poliestireno. Por ejemplo, en el estudio de Huarancca Ñahuincopa (2021), las larvas de *Tenebrio molitor* consumieron 0.226 g de poliestireno expandido en 30 días, con una eficiencia del 3.4%. Entonces, al comparar con el tratamiento del presente estudio, las larvas de *Zophobas morio* mostraron una eficiencia superior (6.3%) bajo condiciones similares de tiempo, lo que sugiere un mayor potencial degradativo de esta especie.

Asimismo, Yang et al. (2015) en su estudio demostró que las larvas de *Tenebrio molitor* lograron biodegradar espuma de poliestireno gracias a la acción de sus microbiotas intestinales, con una cifra de degradación de hasta el 47.7% del poliestireno. Si bien es cierto en el presente trabajo de investigación la tasa de porcentaje de degradación no fue tan alta, pero se observa que el comportamiento de las larvas de *Zophobas morio* avala el

propósito de este estudio, de que estos insectos pueden contribuir significativamente al manejo de residuos plásticos.

Otro estudio relevante es el de Ling (2023) en su tesis, detalló que las larvas de *Zophobas morio* llegaron a degradar un 7% de EPS en 28 días, entonces, se puede decir que se asemeja al 6.3% observado en el presente trabajo de investigación respecto a los 30 días de tratamiento.

La evidencia demuestra que las larvas de *Zophobas morio* representan un candidato sólido para la biodegradación. La eficiencia del 6.3% en 30 días, comparada con el desempeño de otras especies y respaldada por la literatura, posiciona a este insecto como una alternativa biotecnológica viable, posiblemente debido a su mayor biomasa corporal o a la especialización de su microbiota intestinal.

Con respecto al objetivo específico de determinar la eficiencia degradativa de las larvas del *Zophobas morio* en la biodegradación del poliestireno en un periodo de 15 días, en la Tabla 6 se observa que, a los 15 días, el grupo con 100 larvas logró una reducción del 3.8% en la masa del poliestireno (de 10g a 9.62g), mientras que con 70 larvas se alcanzó una reducción del 3.6%, y con 50 larvas tan solo una disminución del 0.2%, alcanzando un promedio general de 1.9% de eficiencia.

Los resultados confirman una capacidad inicial de biodegradación efectiva en tan solo 15 días. La tendencia progresiva del rendimiento en función de la densidad larvaria sugiere que la cantidad de biomasa es un factor limitante que influye directamente en las tasas de consumo en las etapas tempranas, estableciendo una correlación positiva para su aplicación como método ecológico de tratamiento de residuos plásticos.

Con respecto al objetivo específico de determinar la eficiencia de las larvas de *Zophobas morio* en la biodegradación del poliestireno en 30 días. Al concluir los 30 días de exposición, se registró una eficiencia degradativa acumulada del 11.9%, correspondiente a 1.19 g de poliestireno degradado, con un promedio de eficiencia del 2.9%. Estos resultados evidencian una mejora significativa respecto a los primeros 15 días, validando la influencia del tiempo en el proceso. Trabajos de investigación como los de Huarancca

(2021) y Díaz et al. (2023) respaldan este estudio garantizando un aumento positivo en la degradación del poliestireno conforme al aumento del tiempo y cantidad larvaria.

Este hallazgo, por lo tanto, refuerza la hipótesis de que un mayor tiempo de exposición, junto con una densidad larvaria adecuada, optimiza la biodegradación. Esta mejora valida la influencia del tiempo como factor esencial en el proceso biológico, lo cual es consistente con trabajos de investigación previos (Huarancca, 2021; Díaz et al., 2023). Sin embargo, se debe considerar el estudio más profundizado de lo que sucede en los intestinos de las larvas ante exposición prolongada o material más resistente.

Con respecto al objetivo específico de cuantificar la pérdida de masa del poliestireno en el proceso de biodegradación llevado a cabo por larvas de *Zophobas morio*. La pérdida de masa fue proporcional tanto al número de larvas como al tiempo de tratamiento, El grupo de 100 larvas en 30 días mostró la mayor reducción con 0.63 g. Este comportamiento va acorde con los hallazgos de Condezo (2022), quien detalló en su estudio, que el *T. molitor* logro un 86% de pérdida de masa del poliestireno en condiciones similares. Sin embargo, las diferencias entre especies y protocolos experimentales dan diferentes resultados.

Los resultados demuestran que, independientemente del porcentaje final, el solo hecho de comprobar el consumo y la transformación de estos residuos plásticos, indica un avance sólido hacia el manejo biológico. La capacidad de *Zophobas morio* para transformar una masa cuantificable de poliestireno valida su potencial como agente de bioconversión en futuros diseños de procesos biotecnológicos a escala industrial.

Con respecto al objetivo específico de estimar la tasa de supervivencia y de mortalidad de las larvas de *Zophobas morio* en el proceso de biodegradación del poliestireno, la tasa total de mortalidad registrada durante el proceso experimental fue de 2.5%, partiendo con la participación de 440 larvas de *Zophobas morio* distribuidas entre los grupos de 15 y 30 días. Esta baja tasa de mortalidad nos hace conocer que las condiciones experimentales y el consumo de poliestireno no afectaron significativamente la supervivencia

de las larvas, lo cual refuerza la viabilidad del uso de esta especie en procesos de biodegradación. Esto podemos comprobarlo en el estudio de Huarancca (2021), donde detalla la supervivencia de las larvas que fueron superior al 85%, y evidenciando que el poliestireno no es tóxico para las larvas en las condiciones evaluadas. Esto es un aspecto fundamental para considerar la viabilidad de la aplicación práctica de estas larvas en la biodegradación del poliestireno

A partir de los resultados obtenidos, evidenciamos que las larvas de *Zophobas morio* poseen un alto índice de tolerancia frente al poliestireno, con tasas de mortalidad bajas, incluso en ausencia de una dieta convencional, una supervivencia del 97% evidencia que, si se puede aplicar esta especie en un sistema de biodegradación a corto plazo, sin embargo, futuros estudios deberán evaluar los efectos fisiológicos y nutricionales en periodos más prolongados.

CONCLUSIONES

El presente estudio se desarrolló en un ambiente con temperaturas promedio de 13.1°C a las 6:00 a.m. y 21°C a las 6:00 p.m., registradas durante los 30 días. A partir de los resultados obtenidos, se concluye lo siguiente:

- Se concluye que las larvas de *Zophobas morio* son eficientes en la biodegradación del poliestireno expandido en condiciones controladas. La validación de la hipótesis se sustenta en el resultado estadísticamente significativo ($p=0.032$) y en el máximo rendimiento de 6.3% de degradación del material, logrado por el grupo de 100 larvas en 30 días.
- La eficiencia degradativa a los 15 días es baja, registrando un promedio general de 1.9%. No obstante, esta fase inicial confirma la capacidad de la especie para utilizar el poliestireno como sustrato y establece una correlación positiva donde el rendimiento aumenta directamente con la densidad larvaria.
- La prolongación del periodo a 30 días optimiza el proceso de biodegradación, alcanzando un promedio de eficiencia de 2.9% y validando que el tiempo es un factor esencial que permite la aclimatación y el desarrollo óptimo de la actividad metabólica de las larvas.
- La pérdida de masa del poliestireno fue cuantificada, registrando una reducción máxima de 0.63 g en el tratamiento óptimo, confirmando la acción metabólica de *Zophobas morio* como agente viable de bioconversión en el manejo de residuos.
- Las larvas de *Zophobas morio* poseen un alto índice de tolerancia al poliestireno como sustrato, demostrada por una tasa de supervivencia del 97.5%. Esta viabilidad biológica es un aspecto fundamental para considerar la aplicación práctica de esta especie en sistemas de entomoremediación a corto plazo.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar un análisis químico del residuo sólido que dejan las larvas. Esto es crucial para confirmar la degradación total del poliestireno y descartar la presencia de sustancias tóxicas, asegurando así la viabilidad ambiental y la seguridad del proceso de biotratamiento.
- Se sugiere realizar estudios de seguimiento fisiológico y nutricional en las larvas expuestas a poliestireno por periodos superiores a 30 días (ej. 60 o 90 días). Esto permitirá evaluar los efectos crónicos del sustrato en el ciclo de vida, la reproducción y la estabilidad del microbiota intestinal.
- Se aconseja enfocar futuras investigaciones en la identificación, aislamiento y caracterización de las cepas microbianas intestinales de las larvas responsables de la degradación. El objetivo final es evaluar la factibilidad de desarrollar un consorcio microbiano puro y más eficiente para la aplicación controlada de la biodegradación.
- Considerar dar uso de suplementos alimenticios o mezclas con residuos orgánicos para analizar si una dieta mixta mejora la tasa de biodegradación sin comprometer la salud de las larvas.
- Se recomienda que, al finalizar los experimentos, las larvas que logren sobrevivir sean depositados en lugares adecuados, como criaderos de insectos o algún tipo de programas de compostaje, para si evitar cualquier contratiempo de estas larvas en el ambiente.
- Asimismo, los residuos del poliestireno no degradado deberán ser llevados a puntos de acopio autorizados, para su correcta disposición final, evitando la contaminación ambiental.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Academia Lab. (2025). *Degradación del polímero*. Enciclopedia. <https://academia-lab.com/enciclopedia/degradacion-del-polimero/>
- Bertocchini, F. (13 de Febrero de 2022). *Los gusanos que degradan plástico en 40 minutos*. The Conversation Academic rigour. <https://theconversation.com/los-gusanos-que-degradan-plastico-en-40-minutos-171262>
- Buteler, M. (Diciembre de 2019). ¿Qué es la contaminación por plástico y por qué nos afecta a todos?. *Repositorio Institucional de la Universidad Nacional del Comahue. Centro Regional Universitario Bariloche*, 16(28), 56 – 60 . <http://hdl.handle.net/11336/109678>
- Cardozo, M. L. (2020). *Biodegradación del poliestireno expandido por larvas de Tenebrio molitor L. (Coleoptera: Tenebrionidae), en condiciones de laboratorio* [Proyecto de investigación, Universidad Nacional Abierta y a Distancia]. Repositorio Institucional – Universidad Nacional Abierta y a Distancia. <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/34873>
- Centro Nacional de Planeamiento Estratégico (enero de 2023). *Mejoramiento en la gestión integral de residuos sólidos*. https://observatorio.ceplan.gob.pe/ficha/o9_huan
- Condezo Beteta, V. N. (2022). *Eficiencia de las larvas tenebrio molitor en la biodegradación de polímeros*, Huánuco 2019 [Tesis de Título, Universidad de Huánuco]. Repositorio Institucional - Universidad de Huánuco.
- Costa, C., Ide, S., y Estevão, C. (2006). *Insectos Inmaduros, Metamorfosis e Identificación*. Sociedad Entomológica Aragonesa. http://sea-entomologia.org/PDF/M3M5/019_028_II_Estados.pdf
- Cunguan, J., Rojas, L., Tatiana, M., Arcos, B., y Ortoz, C. (2023). *Biodegradation of plastic*. CIENCIA UNEMI, 16(41)28-33. <https://doi.org/10.29076/issn.2528-7737vol16iss41.2023pp28-33p>

- Díaz Méndez, M. A., Posada Delgado, J. C., y Pozo Brito, S. A. (2023). Larvas de *Tenebrio Molitor* con sustratos orgánicos en la biodegradación de residuos de poliestireno expandido (EPS a escala de laboratorio, Callao 2023 [Tesis de Título, Universidad Nacional del Callao]. Repositorio Institucional – Universidad Nacional del Callao.
- Diccionario de la Lengua Española. (s.f.). Definición de Eficiencia. Real Academia Española. <https://dle.rae.es/eficiencia>
- Don Zophoba. (s.f.). *Ciclo de vida de Zophobas Morio*. <https://donzophoba.blogspot.com/2022/10/ciclo-de-vida-de-zophoba-morio.html>
- Editorial Etecé. (24 de octubre del 2024). *Historia del plástico y sus usos*. Concepto. <https://concepto.de/plastico/>
- Empresa de Reciclaje de Plástico (18 de julio de 2022). Los principales usos y características del polietileno de tereftalato. <https://sintac.es/los-principales-usos-y-caracteristicas-del-polietileno-de-tereftalato/>
- Fernández, M. (1996). *Ciudades en riesgo, Degradación ambiental, riesgos urbanos y desastres*. https://www.desenredando.org/public/libros/1996/cer/CER_todo_ene-7-2003.pdf#page=14
- Flickr. (28 de Mayo de 2024). *Plásticos en el fondo del océano [Fotografía]*. <https://flic.kr/p/2pTXoZe>
- Hernández, R., Fernández, C., y Baptista, M. (2014). *Metodología de la Investigación 6ta Edición*. https://www.paginaspersonales.unam.mx/app/webroot/files/981/Investigacion_sampieri_6a_ED.pdf
- Huarancca Ñahuincopa, C. P. (2021). *Biodegradación de Poliestireno, por la acción de larvas de Tenebrio molitor linnaeus, a nivel de laboratorio-Lima-2021* [Tesis de Título, Universidad Cesar Vallejo]. Repositorio Institucional – Universidad Cesar Vallejo.

- Instituto Tecnológico del Plástico. (15 de 06 de 2023). *¿Qué es la biodegradación del plástico ?*. AIMPLAS. <https://www.aimplas.es/blog/que-es-la-biodegradacion-de-plasticos/>
- La República. (5 de julio 2023). *Perú genera 1.2 millones de toneladas de residuos plásticos al año*. La República sostenible. <https://especial.larepublica.pe/la-republica-sostenible/2023/07/05/peru-genera-12-millones-de-toneladas-de-residuos-plasticos-al-ano-269930>
- Laffon Lage, B. (19 de Julio de 2001). *Evaluación de los efectos genotóxicos del estireno*. [Tesis de Título, Universidad de Santiago de Compostela]. <https://portalcientifico.sergas.gal/documentos/5d1df66929995204f766b446?lang=en>
- Langley, L. (13 de Agosto de 2020). *De oruga a mariposa: así se produce la metamorfosis*. Revista Nat Geo. <https://www.nationalgeographic.es/animales/2020/08/de-oruga-a-mariposa-la-ciencia-de-la-metamorfosis>
- Ling Salazar, J. T. (2023). *Comparación de la capacidad de biodegradación de plásticos por larvas de insectos de la familia Pyralidae y Tenebrionidae* [Tesis de Título, Escuela Superior Politécnica del Litoral]. <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/58385>
- Lira Gómez, C. (Mayo de 2023). *Definición de metamorfosis ejemplos, causas y características*. Enciclopedia. <https://enciclopedia.net/metamorfosis/>
- López, D. (7 de Agosto de 2019). *Résiduos sólidos: qué son, clasificación y ejemplos*. Eco Trendies: <https://ecotrendies.com/residuos-solidos-que-son-clasificacion-y-ejemplos.html>
- Martínez López, C., y Laines Canepa, J. (2013). *Poliestireno expandido EPS y su problemática ambiental*, Dialnet 19(36). <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9492530>
- Mejía C., C. (1998). *Indicadores de efectividad y eficacia*. Documentos Planning. https://planning.com.co/bd/valor_agregado/Octubre1998.pdf

- Ministerio del Ambiente. (2017). *Cifras en el mundo y el Perú*.
https://www.minam.gob.pe/menos-plastico-mas-vida/cifras-del-mundo-y-el-peru/#_ftn1
- Ministerio del Ambiente. (2021). *La ciudadanía tiene un rol fundamental para impulsar el consumo responsable y reducir la generación de residuos sólidos en el país*. https://www.minam.gob.pe/menos-plastico-mas-vida/cifras-del-mundo-y-el-peru/#_ftn1
- Mondragon, I. (2021). Dimorfismo sexual de *Zophobas morio* (Fabricius, 1776) (Coleoptera, Tenebrionidae) en las etapas de pupa y de adulto. *Revista Ingeniería y Region*, 25. DOI: 10.25054/22161325.2703
- Mora Vargas, A. I., (2004). La evaluación educativa: Concepto, períodos y modelos. *Revista Electrónica Actualidades Investigativas en Educación*, 4(2), 0. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=44740211>
- Moreno Castro, D., y Palacios Anzules, Í. (2022). Contaminación ambiental. *Revista Científica Mundo de la Investigación y el Conocimiento*, 6(2), 93 – 103. [https://doi.org/10.26820/recimundo/6.\(2\).abr.2022.93-103](https://doi.org/10.26820/recimundo/6.(2).abr.2022.93-103)
- National Geographic. (23 de Abril de 2024). *Estos son los 7 tipos de plásticos que existen en el mundo y los objetos cotidianos en los que se encuentra*. <https://www.nationalgeographicla.com/medio-ambiente/2024/04/estos-son-los-7-tipos-de-plasticos-que-existen-en-el-mundo-y-los-objetos-cotidianos-en-los-que-se-encuentran>
- OCEANA. (25 de abril de 2025). *Informe de Oceana revela que contenedores de plumavit usados en alimentos son riesgosos para la salud humana*. <https://chile.oceana.org/comunicados/informe-de-oceana-revela-que-contenedores-de-plumavit-usados-en-alimentos-son-riesgosos-para-la-salud-humana/>
- Parker, L. (10 de Junio de 2019). *Te explicamos la crisis mundial de contaminación por plástico*. National Geographic. <https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/2019/06/contaminacion-plastico-explicacion-crisis-mundial>

- Pérez Porto, J., y Merino, M. (23 de Julio de 2021). *Larva - Qué es, características, definición y concepto*. Definición. De. <https://definicion.de/larva/>
- Posada Bustamante, B. (1994). La degradación de los plásticos. *Revista Universidad EAFIT*, 30(94), 67–86. <https://publicaciones.eafit.edu.co/index.php/revista-universidad-eafit/article/view/1408>
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (s.f.). Informe de la ONU sobre contaminación por plásticos advierte sobre falsas soluciones y confirma la necesidad de una acción mundial urgente. Organización de las Naciones Unidas. <https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/comunicado-de-prensa/informe-de-la-onu-sobre-contaminacion-por-plasticos>
- Quiminet. (15 de Febrero de 2011). *Historia del poliestireno*. <https://www.quiminet.com/articulos/historia-del-poliestireno-2681667.htm>
- Ricardo, R. (10 de Agosto de 2023). *Larva: definición y tipos*. Estudiando. <https://estudiando.com/larva-definicion-y-tipos/>
- Risso, I. (8 de Diciembre de 2022). *Zophobas morio, la especie de gusanos que come plástico*. Billiken. <https://billiken.lat/interesante/zophobas-morio/>
- Rivas Sánchez, J. M. (2020). Capacidad biodegradativa de la cucaracha *Periplaneta americana* (Linnaeus, 1758) sobre la bolsa plástica y el FILM para la elaboración de abono [Tesis de Título, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio Institucional – Universidad Nacional Agraria de la Selva.
- Rivera Condezo, N. G. (2023). Comparación de la eficacia de la capacidad degradativa de la larva tenebrio *Molitor* para la biodegradación de envases descartables (en base a fécula de maíz y poliestireno), Huánuco – 2022 [Tesis de Título, Universidad de Huánuco]. Repositorio Institucional - Universidad de Huánuco

- Rodríguez-Carreón, A., Ortiz-Rivera, Y., Hernández-Peña, C. C., y Figueroa, C. (2021). Biodegradación de espumas plásticas por larvas de insectos: ¿una estrategia sustentable? *Tip Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 24(), 1-10. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2021.311>
- Rodriguez, G. (27 de enero de 2021). *Biodegradación ¿En qué consiste y cómo beneficia al ambiente?*. Bioguía. https://www.bioguia.com/ambiente/biodegradacion-consiste-como-beneficia-al-ambiente_89232701.html
- Rodríguez, H. (02 de setiembre de 2019). *La degradación del plástico potencia el efecto invernadero*. National Geographic España. https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/actualidad/degradacion-plastico-potencia-efecto-invernadero_13126#google_vignette
- Roldán, L. (3 de julio de 2023). *Biodegradación del plástico: qué es y método*. Ecología verde. <https://www.ecologiaverde.com/biodegradacion-del-plastico-que-es-y-metodos-2424.html>
- Ropero Portillo, S. (1 de julio de 2024). *Reciclaje y gestión de residuos*. Ecología verde. <https://www.ecologiaverde.com/cuanto-tarda-en-degradarse-el-plastico-2693.html>
- Samsa. (s.f.). *Zophobas Morio, ciclo de vida*. https://www.alimentovivosamsa.com/blog/98_zophobas.html
- Schulte, R. (1996). El manejo de *Zophobas morio* (coleoptera: Tenebrionidae) en climas tropicales húmedos. *Revista Científica Folia Amazónica*, 8(2), 47 – 75. <https://doi.org/10.24841/fa.v8i2.321>
- Supo, J. y Zacarías, H. (2020). *Metodología de la investigación científica: Para las Ciencias de la Salud y las Ciencias Sociales*. Independently Published. <https://www.iberlibro.com/servlet/BookDetailsPL?bi=32048022748>
- Tipos. (17 de enero de 2021). tipos de larvas. <https://tipos.com.mx/tipos-de-larvas>

Úbeda Olivas, M. F., y Michel Maes, J. (2021). Manual del manejo de crianza de Zophobas. *Revista Nicaraguense de Entomología*, 1-5. https://www.researchgate.net/publication/353646612_manual_del_manejo_de_crianza_de_zophobas

Valera, K. (2022). *Larva*. Enciclopedia Iberoamericana. <https://enciclopediaiberoamericana.com/larva/>

Valladolid Medina, M. S. (2023). Biodegradación del poliestireno expandido mediante el uso de la especie *Tenebrio molitor* (gusano de harina), Arequipa – 2022 [Tesis de Título, Universidad Continental]. Repositorio Institucional – Universidad Continental.

Vílchez Cruz , W., y Rodas Vargas, T. (2022). Insectos devoradores de plástico: Una solución a un gran problema medioambiental. *Artículo de Divulgación Científica*. https://www.researchgate.net/publication/366702460_Insectos_devoradores_de_plastico_Una_solucion_a_un_gran_problema_medioambiental.

COMO CITAR ESTE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Olivas Gomez, J. (2025). *Evaluación de la eficiencia degradativa de las larvas del Zophobas morio en la biodegradación del poliestireno, Huánuco, 2024* [Tesis de pregrado, Universidad de Huánuco]. Repositorio Institucional UDH. <http://...>

ANEXOS

ANEXO 1

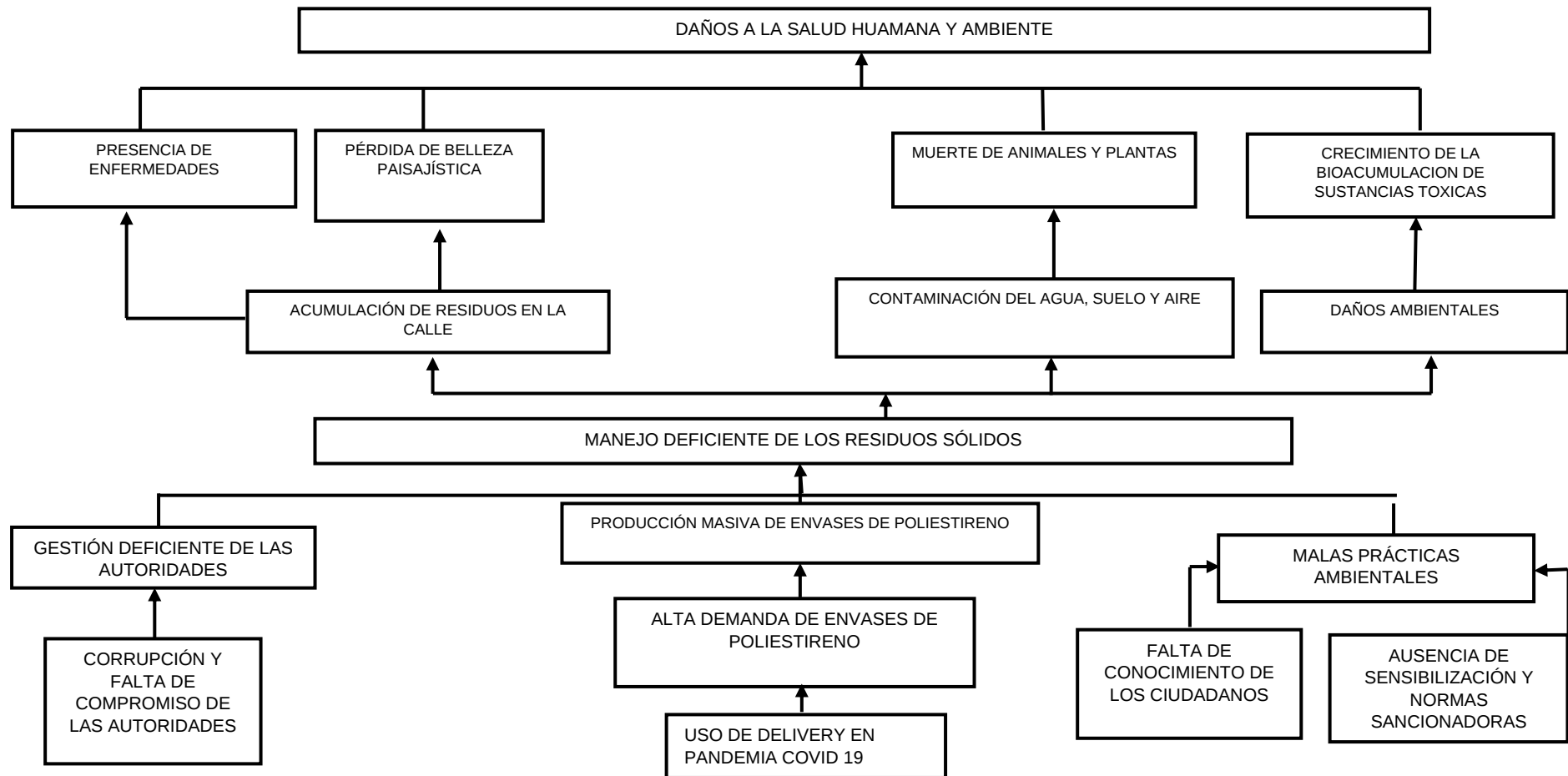
MATRIZ DE CONSISTENCIA

“Evaluación de la eficiencia degradativa de las larvas del *Zophobas morio* en la biodegradación del poliestireno, Huánuco, 2024”

Problema General	Objetivo General	Hipótesis	Variable/ indicadores	Metodología
¿Cuál es la eficiencia degradativa de las larvas del <i>Zophobas morio</i> en la biodegradación del poliestireno?	Evaluar la eficiencia degradativa de las larvas del <i>Zophobas morio</i> en la biodegradación del poliestireno.	Hipótesis general H1: Las larvas de <i>Zophobas morio</i> presentan eficiencia degradativa significativa en la biodegradación del poliestireno expandido en condiciones controladas.	Variable independiente: Exposición de las larvas de <i>Zophobas morio</i> al poliestireno Variable dependiente: Eficiencia degradativa del poliestireno Parámetros físicos: - Masa - Altura - Volumen - Tasa de supervivencia y mortalidad	Enfoque: Cuantitativo Tipo y Nivel: Aplicada - Explicativo Diseño: Cuasiexperimental Población: La población del estudio estuvo conformada por el universo de larvas de <i>Zophobas morio</i> en fase larvaria, provenientes de un criadero controlado en la ciudad de Arequipa. Para garantizar la fiabilidad del experimento, la población de estudio se limitó a aquellos individuos que cumplieran con indicadores de buena salud y alta actividad biológica al inicio del ensayo. Muestra: Para la presente investigación las muestras fueron obtenidas a través de muestreo no probabilístico, es así la muestra de poliestireno son de 80 gr, y 440 unidades de larvas jóvenes del <i>Zophobas morio</i> en fase de larvas. Diseño: Experimento verdadero GE15: O1 Xa O2 GC15: O1 -- O2 GE30: O1 Xa O2 GC30: O1 -- O2 GE15: Grupo experimental 15 días GE30: Grupo experimental 30 días GC15: Grupo control sin tratamiento (15 días) GC30: Grupo control sin tratamiento (30 días) Xa: Intervención con <i>Zophobas morio</i> O1: observación (pre-test) O2: observación (post-test) (--): ausencia de intervención
Problema Específico	Objetivo Específico			
¿Cuál es la eficiencia degradativa de las larvas de <i>Zophobas morio</i> en la biodegradación del poliestireno expandido en un periodo de 15 días?	Determinar la eficiencia degradativa de las larvas de <i>Zophobas morio</i> en la biodegradación del poliestireno en un periodo de 15 días.			
¿Cuál es la eficiencia degradativa de las larvas de <i>Zophobas morio</i> en la biodegradación del poliestireno expandido en un periodo de 30 días?	Determinar la eficiencia degradativa de las larvas de <i>Zophobas morio</i> en la biodegradación del poliestireno en un periodo de 30 días.	H0: Las larvas de <i>Zophobas morio</i> no presentan eficiencia degradativa significativa en la biodegradación del poliestireno expandido en condiciones controladas.		
¿Qué cantidad de masa de poliestireno se reduce como resultado de la acción degradativa de las larvas de <i>Zophobas morio</i> ?	Cuantificar la pérdida de masa del poliestireno en el proceso de biodegradación del poliestireno llevado a cabo por larvas de <i>Zophobas morio</i> .			
¿Cuál es la tasa de supervivencia y de mortalidad de las larvas de <i>Zophobas morio</i> en el proceso de biodegradación del poliestireno?	Estimar la tasa de supervivencia y de mortalidad de las larvas de <i>Zophobas morio</i> en el proceso de biodegradación del poliestireno.			

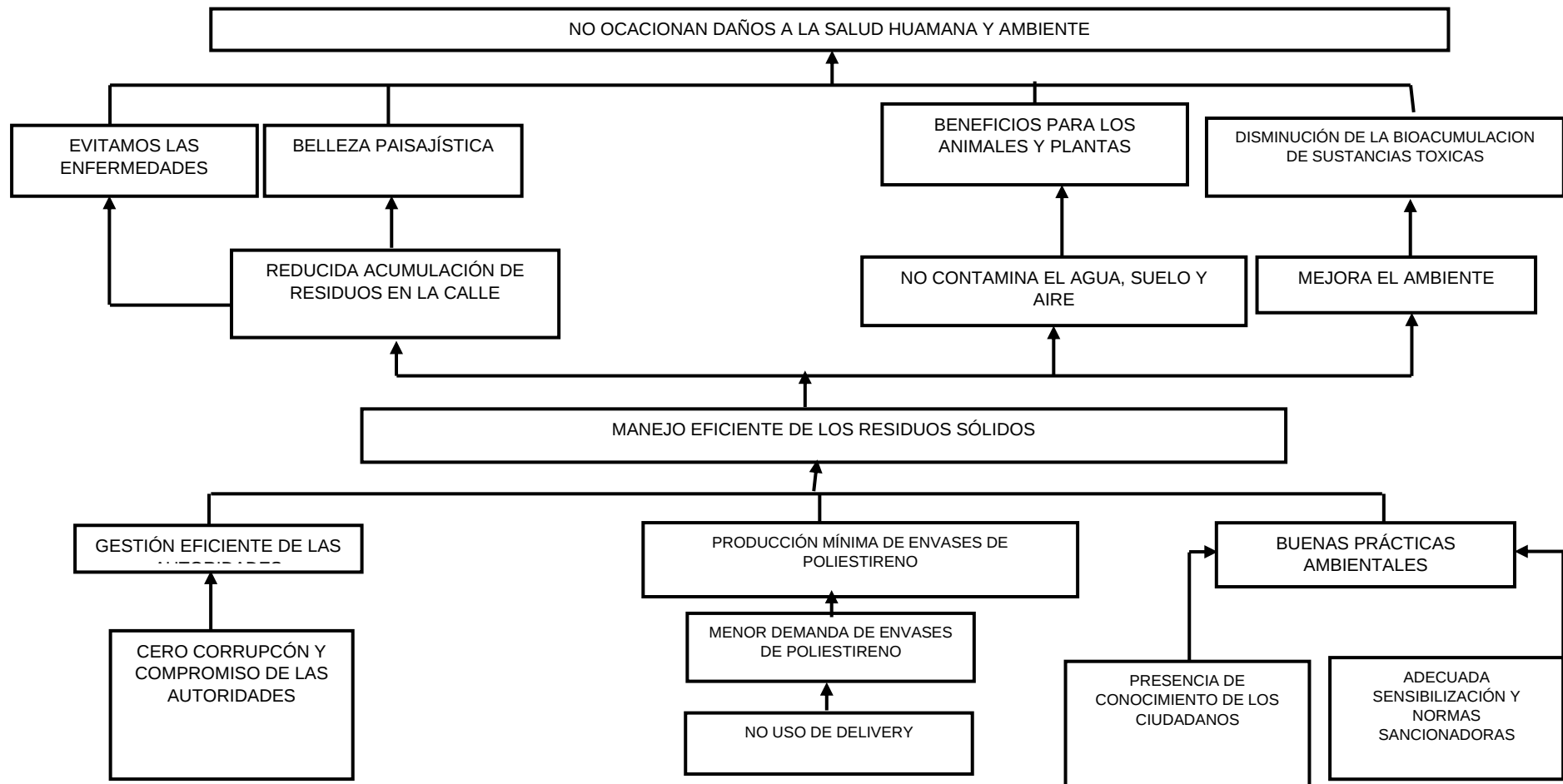
ANEXO 2

DIAGRAMA DE CAUSA Y EFECTO



ANEXO 3

DIAGRAMA DE MEDIOS Y FINES



ANEXO 4

FICHA DE OBSERVACIÓN

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Tasa de supervivencia

Tema de investigación: **“EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DEGRADATIVA DE LAS LARVAS DEL *Zophobas morio* EN LA BIODEGRADACIÓN DEL POLIESTIRENO, HUANUCO, 2024”**

Tesisista:.....

Asesor:.....

Lugar:.....

Grupo: 01 (15 días de tratamiento)



Fecha	Grupo	Tratamiento	Inicio N° larvas vivas	Final N° Larvas vivos	Final N° Larvas muertos	Observación
		Control				
		Experimental 1				
		Experimental 2				
		Experimental 3				

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS



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

Tasa de supervivencia

Tema de investigación: **“EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DEGRADATIVA DE LAS LARVAS DEL *Zophobas morio* EN LA BIODEGRADACIÓN DEL POLIESTIRENO, HUANUCO, 2024”**

Tesista:.....

Asesor:.....

Lugar:.....

Grupo: 02 (30 días de tratamiento)

Fecha	Grupo	Tratamiento	Inicio N° larvas vivos	Final N° Larvas vivos	Final N° Larvas muertos	Observación
		Control				
		Experimental 1				
		Experimental 2				
		Experimental 3				

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

Lugar:.....

FICHA N°03 DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Control de masa del poliestireno

Tema de investigación: **“EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DEGRADATIVA DE LAS LARVAS DEL Zophobas morio EN LA BIODEGRADACIÓN DEL POLIESTIRENO, HUANUCO, 2024”**



Tesista:.....

Asesor:.....

Lugar:.....

Código	Tratamiento	N° de larvas	Masa inicial del PS (g)	Masa final del PS a 15 días (g)	Observación	Masa final del PS a 30 días (g)	Observación
G1-T0	Control	0					
G1-T1	Experimental 1	50					
G1-T2	Experimental 2	70					
G1-T3	Experimental 3	100					
G2-T0	Control	0					
G2-T1	Experimental 1	50					
G2-T2	Experimental 2	70					
G2-T3	Experimental 3	100					

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS



Tasa de supervivencia

Tema de investigación: "EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DEGRADATIVA DE LAS LARVAS DEL *Zophobas morio* EN LA BIODEGRADACIÓN DEL POLIESTIRENO, HUANCAYO, 2024"

Tesista: *Bach. Jonathan Andy Olivas Gomez*

Asesor: *Mg. Perfecta Sofia Valdivia Martel*

Lugar: *Amarilis - Huancayo*

Grupo: 01 (15 días de tratamiento)

Fecha	Grupo	Tratamiento	Inicio N° Larvas vivos	Final N° Larvas vivos	Final N° Larvas muertos	Observación
<i>01-08-2025</i> <i>al</i> <i>15-08-2025</i>	<i>G1</i>	Control	<i>0</i>	<i>-</i>	<i>-</i>	<i>Grupo Control sin intervención de larvas.</i>
		Experimental 1	<i>50</i>	<i>46</i>	<i>4</i>	
		Experimental 2	<i>70</i>	<i>67</i>	<i>3</i>	
		Experimental 3	<i>100</i>	<i>99</i>	<i>1</i>	

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Tasa de supervivencia



Tema de investigación: "EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DEGRADATIVA DE LAS LARVAS DEL *Zophobas morio* EN LA BIODEGRADACIÓN DEL POLIESTIRENO, HUANOUCO, 2024"

Tesista: Bach. Jhonatan Andy Olivas Gomez

Asesor: Mg. Perfecto Sofia Veldina Martel

Lugar: Amaris - Huánuco

Grupo: 02 (30 días de tratamiento)

Fecha	Grupo	Tratamiento	Inicio N° Larvas vivos	Final N° Larvas vivos	Final N° Larvas muertos	Observación	
16-08-2024	G2	Control	0	-		El Grupo Control fue sin intervención	
21		Experimental 1	50	49	1		
30-08-2024		Experimental 2	70	70	0		
		Experimental 3	100	98	2		

FICHA N° 2 DE RECOLECCIÓN DE DATOS
Registro de Temperatural ambiental del local



Tema de investigación: "EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DEGRADATIVA DE LAS LARVAS DEL *Zophobas morio* EN LA BIODEGRADACIÓN DEL POLIESTIRENO, HUANUCO, 2024"

Tesista: Bach. Jhonatan Andy Olivero Gomez

Asesor: Mg. Perreza Sofia Valdivia Martel

Lugar: Amarillos - Huánuco

Fecha	Tiempo (Días)	Horas	Temperatura °C	Observación
01-08-2024	1	06:00 am	14	Ninguno
		06:00 pm	21	
02-08-2024	2	6:00 am	12	Ninguno
		6:00 pm	21	
03-08-2024	3	6:00 am	12	Ninguno
		6:00 pm	21	
04-08-2024	4	6:00 am	13	Ninguno
		6:00 pm	21	
05-08-2024	5	6:00 am	14	Ninguno
		6:00 pm	21	
06-08-2024	6	6:00 am	13	Ninguno
		6:00 pm	21	
07-08-2024	7	6:00 am	13	Ninguno
		6:00 pm	21	Ninguno
08-08-2024	8	6:00 am	13	Ninguno
		6:00 pm	21	
09-08-2024	9	6:00 am	12	Ninguno
		6:00 pm	21	
10-08-2024	10	6:00 am	13	Ninguno
		6:00 pm	20	
11-08-2024	11	6:00 am	13	Ninguno
		6:00 pm	20	
12-08-2024	12	6:00 am	13	Ninguno
		6:00 pm	21	
13-08-2024	13	6:00 am	12	Ninguno
		6:00 pm	21	

FICHA N° 2 DE RECOLECCIÓN DE DATOS
Registro de Temperatural ambiental del local



Tema de investigación: "EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DEGRADATIVA DE LAS LARVAS DEL *Zophobas morio* EN LA BIODEGRADACIÓN DEL POLIESTIRENO, HUANUCO, 2024"

Tesista: Bach. Jonathan Andy Olivas Gomez

Asesor: Mg. Perfecta Sofia Valdivia Martel

Lugar: Amanlis - Huánuco

Fecha	Tiempo (Días)	Horas	Temperatura °C	Observación
14-08-2024	14	6:00 a.m	13	Ninguno
		6:00 p.m	21	
15-08-2024	15	6:00 a.m	12	Ninguno
		6:00 p.m	21	
16-08-2024	16	6:00 a.m	13	Ninguno
		6:00 p.m	21	
17-08-2024	17	6:00 a.m	13	Ninguno
		6:00 p.m	20	
18-08-2024	18	6:00 a.m	13	Ninguno
		6:00 p.m	21	
19-08-2024	19	6:00 a.m	13	Ninguno
		6:00 p.m	21	
20-08-2024	20	6:00 a.m	13	Ninguno
		6:00 p.m	21	
21-08-2024	21	6:00 a.m	12	Ninguno
		6:00 p.m	21	
22-08-2024	22	6:00 a.m	13	Ninguno
		6:00 p.m	21	
23-08-2024	23	6:00 a.m	13	Ninguno
		6:00 p.m	20	
24-08-2024	24	6:00 a.m	13	Ninguno
		6:00 p.m	21	
25-08-2024	25	6:00 a.m	13	Ninguno
		6:00 p.m	21	
26-08-2024	26	6:00 a.m	12	Ninguno
		6:00 p.m	21	

Tesista: Bach. Jonathan Andy Olivas Gomez
Asesor: Mg. Perfecto Sofia Valdivia Martel
Lugar: Anaxilis - Huánuco

[illegible]

FICHA N° 3 DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Control de masa del poliestireno



Tema de investigación: "EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DEGRADATIVA DE LAS LARVAS DEL Zophobas morio EN LA BIODEGRADACIÓN DEL POLIESTIRENO, HUANUCO, 2024"

Tesista: Bach. Jonathan Andy Olivas Gomez

Asesor: Mg. Perfecto Sofia Valdivia Martel

Lugar: Amarilis - Huanuco

Código	Tratamiento	N° de larvas	Masa inicial del PS (g)	Masa final del PS a 15 días (g)	Observación	Masa final del PS a 30 días (g)	Observación
G1-T0	Control	0	10 g	10g	Ninguno	-	-
G1-T1	Experimental 1	50	10 g	9.98 g	Ninguno	-	-
G1-T2	Experimental 2	70	10 g	9.64 g	Ninguno	-	-
G1-T3	Experimental 3	100	10 g	9.62 g	Ninguno	-	-
G2-T0	Control	0	10 g	-	-	10g	Ninguno
G2-T1	Experimental 1	50	10 g	-	-	9.96 g	Ninguno
G2-T2	Experimental 2	70	10 g	-	-	9.48 g	Ninguno
G2-T3	Experimental 3	100	10 g	-	-	9.37 g	Ninguno

ANEXO 5

ETIQUETAS DE IDENTIFICACIÓN DE TRATAMIENTOS

ETIQUETA DE IDENTIFICACION DE TRATAMIENTO	
UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO FACULTAD DE INGENIERIA PROGRAMA ACADEMICO DE INGENIERIA AMBIENTAL	
CODIGO : LARVAS : TIEMPO: PESO INICIAL:.....g FECHA DE INICIO:.....	

ETIQUETA DE IDENTIFICACION DE TRATAMIENTO	
UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO FACULTAD DE INGENIERIA PROGRAMA ACADEMICO DE INGENIERIA AMBIENTAL	
CODIGO : LARVAS : TIEMPO: PESO INICIAL:.....g FECHA DE INICIO:.....	

ETIQUETA DE IDENTIFICACION DE TRATAMIENTO					
UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO FACULTAD DE INGENIERIA PROGRAMA ACADEMICO DE INGENIERIA AMBIENTAL					
CODIGO :	62-T ₀	LARVAS :	0	TIEMPO:	30 Días
PESO INICIAL:	10.....g				
FECHA DE INICIO:	01-08-2024.....				

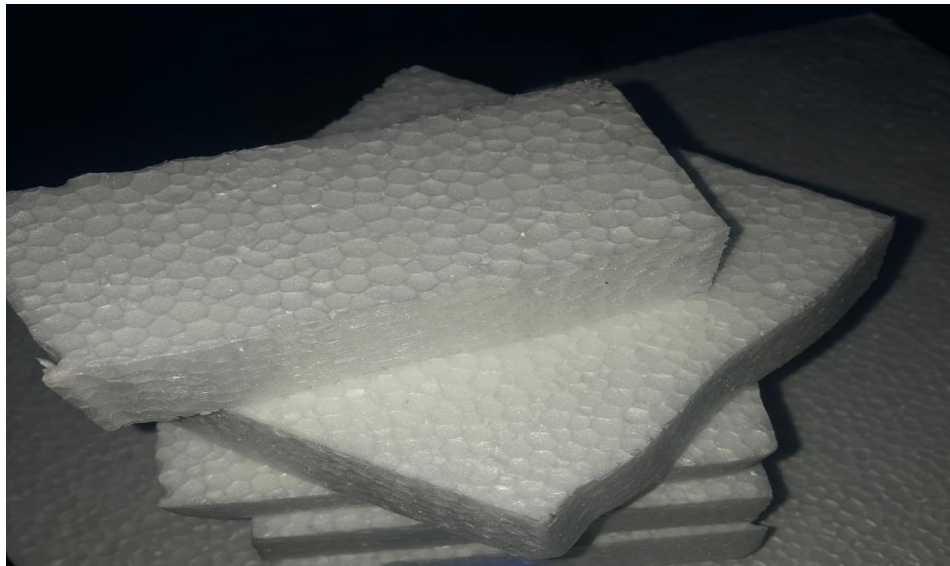
ETIQUETA DE IDENTIFICACION DE TRATAMIENTO					
UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO FACULTAD DE INGENIERIA PROGRAMA ACADEMICO DE INGENIERIA AMBIENTAL					
CODIGO :	62-T ₁	LARVAS :	50	TIEMPO:	30 Días
PESO INICIAL:	10.....g				
FECHA DE INICIO:	01-08-2024.....				

ETIQUETA DE IDENTIFICACION DE TRATAMIENTO					
UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO FACULTAD DE INGENIERIA PROGRAMA ACADEMICO DE INGENIERIA AMBIENTAL					
CODIGO :	62 - T ₂	LARVAS :	70	TIEMPO:	30 Días
PESO INICIAL:	10.....g				
FECHA DE INICIO:	01-08-2024.....				

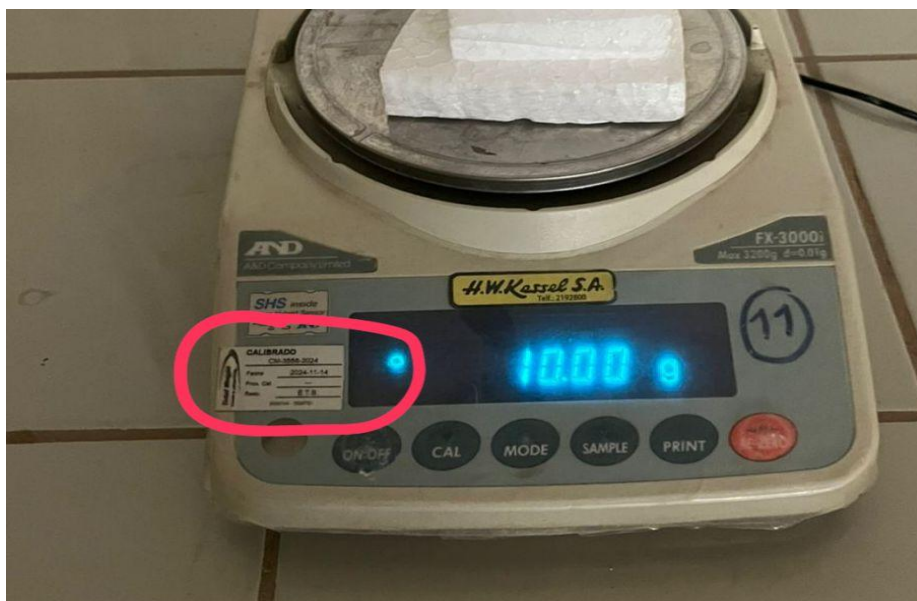
ANEXO 6
PANEL FOTOGRAFICO



Zophobas morio en la fase larvaria.



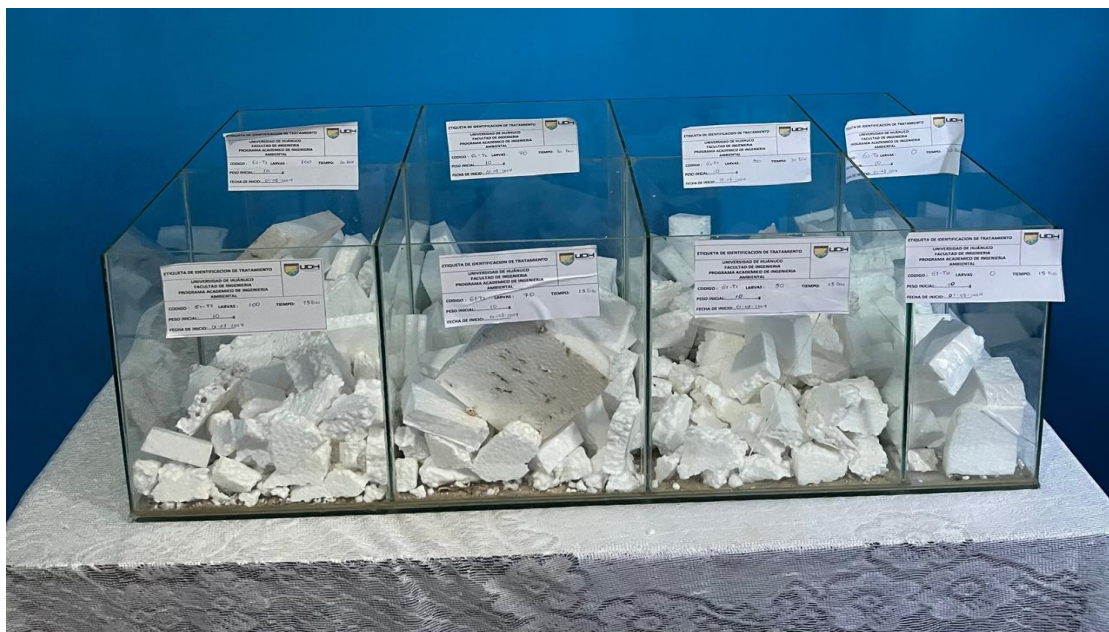
Muestras de Poliestireno expandido (tecnopor).



Balanza electronica de precision **con certificado de calibración N° CM-3555-2024.**



Pesaje inicial de 10,00 g de poliestireno expandido (EPS). Esta cantidad corresponde a la porción inicial de poliestireno destinada a los diferentes tratamientos experimentales y al grupo control, distribuidos de forma equitativa.



Recipiente de vidrio fabricado con 8 compartimentos independientes: 6 destinados a los tratamientos experimentales con larvas de *Zophobas morio* y 2 asignados como grupos control sin presencia de larvas. Cada compartimento contiene 10 g de poliestireno expandido como sustrato para evaluar la biodegradación durante 15 y 30 días



Estado de los compartimentos con poliestireno al día 8 del tratamiento. Se continúa el monitoreo del proceso de biodegradación en los tratamientos experimentales.



Larva de *Zophobas morio* observada durante el proceso de biodegradación activa del poliestireno expandido. Se evidencia la presencia de túneles y residuos en la superficie del polímero, indicadores del consumo y degradación física inducida por el insecto.



Pesaje final del poliestireno al término del tratamiento con 100 larvas de *Zophobas morio*. Se muestra esta imagen por representar el momento de mayor consumo (0,63 g) y la degradación más evidente del material, siendo el punto más representativo del proceso experimental.



visita in situ de mi asesora Mg. Perfecta Sofia Valdivia Martel, para observar y asesorar durante el desarrollo de la investigación.



Explicación del procedimiento experimental a la asesora durante la etapa de biodegradación del poliestireno con Zophobas morio.

ANEXO 7

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN DE BALANZA ELECTRÓNICA



LABORATORIO DE CALIBRACIÓN ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA
CON REGISTRO N° LC - 010



Registro N° LC - 010

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° CM-3555-2024

Requerimiento
6888-2024

Fecha de Emisión
2024-11-14

1. SOLICITANTE : UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILIO VALDIZAN
HUANUCO
Dirección : Av. Universitaria 601 - 607 N° 601 - Urb. Cayhuayna -
Huanuco - Huanuco - Pillico Marca.

2. INSTRUMENTO DE MEDICIÓN : BALANZA

Tipo : ELECTRÓNICA
Clasificación : NO AUTOMÁTICA
Marca : AND
Modelo : FX-300i
Número de serie : 15621647
Identificación : NO INDICA
Procedencia : JAPAN
Capacidad máxima : 320 g
Div. de escala (d) : 0,001 g
Div. de verificación (e) : 0,01 g
Clase de exactitud : II
Ubicación : LABORATORIO

3. FECHA Y LUGAR DE LA CALIBRACIÓN

Calibrado el 2024-11-14 en LAB. DE SUELOS Y ENSAYOS ESPECIALES DE
LA UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILIO VALDIZAN HUANOUCO

4. MÉTODO DE CALIBRACIÓN

La calibración se realizó mediante el método de comparación según el PC-011
4ta Edición, 2010: "Procedimiento para la calibración de balanzas de
funcionamiento no automático clase I y clase II" del INDECOPI.

5. TRAZABILIDAD

Los resultados de la calibración tienen trazabilidad a patrones nacionales e
internacionales.

Patrones Utilizados	Certificado
Juego de pesas F1	PE24-C-0444

6. CONDICIONES DE CALIBRACIÓN

Temperatura Ambiental : De 21,5 °C a 22,0 °C
Humedad Relativa : De 63,0% H.R. a 64,0% H.R.

Los resultados del presente certificado sólo
son válidos para el instrumento calibrado,
no pudiendo extenderse a ningún otro
instrumento que no haya sido calibrado, así
mismo, estos resultados no deben ser
utilizados como una certificación de
conformidad con normas de producto o
como certificado del sistema de calidad de
la entidad que lo produce.

Total Weight & Systems S.A.C. no se
responsabiliza por los perjuicios que pueda
provocar cualquier interpretación errónea
de los resultados del presente certificado.

Este certificado de calibración sólo puede
ser difundido completamente y sin
modificaciones. Los extractos o
modificaciones requieren la autorización de
Total Weight & Systems S.A.C.

Los certificados carecen de validez sin la
firma y sellos de Total Weight & Systems
S.A.C.



Ricardo Sotomayor Jaime
Gerente del L.C.

MTW36-08

TOTAL WEIGHT & SYSTEMS S.A.C.
Jr. Alfonso Bernal Montoya N° 1020 Urb. San Amadeo de Garagay, S.M.P.
Telef.: 569-9750 / 569-9750 / 569-9751
Website: www.totalweight.com

Responsable: Dpto. Metrología
Pág. 1 de 3

ANEXO 8

PLANO DE UBICACIÓN

