



Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión

Escuela de Posgrado

**Comparación de biodegradación de poliestireno expandido entre larvas de
Tenebrios molitor y *Zophobas morio* para mitigar la contaminación por plásticos**

Tesis

Para optar el Grado Académico de Maestra en Ecología y Gestión Ambiental

Autora

Estefani Katherine Casazola Otoya

Asesor

Dr. Carlomagno Ronald Velásquez Vergara



Carlomagno Velásquez Vergara
Médico Veterinario
C.M.V.P. N° 1515

**Huacho- Perú
2026**



Reconocimiento - No Comercial – Sin Derivadas - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

Reconocimiento: Debe otorgar el crédito correspondiente, proporcionar un enlace a la licencia e indicar si se realizaron cambios. Puede hacerlo de cualquier manera razonable, pero no de ninguna manera que sugiera que el licenciante lo respalda a usted o su uso. **No Comercial:** No puede utilizar el material con fines comerciales. **Sin Derivadas:** Si remezcla, transforma o construye sobre el material, no puede distribuir el material modificado. **Sin restricciones adicionales:** No puede aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros de hacer cualquier cosa que permita la licencia.



UNIVERSIDAD NACIONAL JOSÉ FAUSTINO SÁNCHEZ CARRIÓN

LICENCIADA

(Resolución de Consejo Directivo N° 012-2020-SUNEDU/CD de fecha 27/01/2020)

ESCUELA DE POSGRADO MAESTRÍA EN ECOLOGÍA Y GESTIÓN AMBIENTAL

METADATOS

<u>DATOS DEL AUTOR (ES):</u>		
APELLIDOS Y NOMBRES	DNI	FECHA DE SUSTENTACIÓN
Estefani Katherine Casazola Otoya	45838896	18-03-2026
<u>DATOS DEL ASESOR:</u>		
APELLIDOS Y NOMBRES	DNI	CÓDIGO ORCID
Carlomagno Ronald Velásquez Vergara	08471692	https://orcid.org/0009-0007-9335-3583
<u>DATOS DE LOS MIEMBROS DE JURADOS – PREGRADO/POSGRADO-MAESTRÍA-DOCTORADO:</u>		
APELLIDOS Y NOMBRES	DNI	CODIGO ORCID
Fredesvindo Fernández Herrera	40588728	https://orcid.org/0000-0003-2973-7973
Maria del Rosario Grados Olivera	15736587	https://orcid.org/0000-0002-3004-0252
Maria del Rosario Utia Pinedo De Davila	07922793	https://orcid.org/0000-0002-2396-3382

ESTEFANI KATHERINE CASAZOLA OTOYA 2026-001...

COMPARACIÓN DE BIODEGRADACIÓN DE POLIESTIRENO EXPANDIDO ENTRE LARVAS DE TENEBRIOS MOLITOR Y ZOP...

DGI-POSGRADO 2026
Dirección de Gestión de la Investigación-VRI 2026
DIRECCION DE GESTION DE LA INVESTIGACION

Detalles del documento

Identificador de la entrega
trn:oid=1:3461316894

Fecha de entrega
20 ene 2026, 2:40 p.m. GMT-5

Fecha de descarga
20 ene 2026, 3:12 p.m. GMT-5

Nombre del archivo
TESIS_FINAL_CASAZOLA_OTOYA_1_corregido1.pdf

Tamaño del archivo
2.6 MB

102 páginas

22.661 palabras

114.152 caracteres



Página 2 de 114 - Descripción general de integridad

Identificador de la entrega trn:oid=1:3461316894

20% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Exclusiones

- N.º de fuente excluida
- N.º de coincidencias excluidas

Fuentes principales

- 19% Fuentes de Internet
- 9% Publicaciones
- 13% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

**Comparación de biodegradación de poliestireno expandido entre larvas de
Tenebrios molitor y *Zophobas morio* para mitigar la contaminación por plásticos-2025**

Ing. ESTEFANI KATHERINE CASAZOLA OTOYA

TESIS DE MAESTRIA

**ASESOR:
Dr. CARLOMAGNO VELÁSQUEZ VERGARA**

UNIVERSIDAD NACIONAL JOSÉ FAUSTINO SANCHEZ CARRIÓN

ESCUELA DE POSGRADO

MAESTRO EN ECOLOGÍA Y GESTIÓN AMBIENTAL

**Huacho – Perú
2026**

DEDICATORIA

A Dios, por su guía y fortaleza; a mis padres, por su amor, sacrificio y ejemplo; a mi hija, motivo profundo de mis esfuerzos, cuya existencia ilumina cada paso de mi vida y me impulsa a seguir adelante con determinación; a mi hermana y a mi sobrino, por su apoyo constante y palabras de aliento; y a toda mi familia, por creer en mí. Con gratitud y cariño, les dedico este importante logro.

Estefani Katherine Casazola Otoyá

AGRADECIMIENTO

Expreso mi profundo agradecimiento a Dios por otorgarme la sabiduría, fortaleza y perseverancia necesarias para culminar con éxito este proceso de investigación, guiando cada paso con su infinita gracia.

Manifiesto mi sincero reconocimiento a mi asesor, por su orientación académica, paciencia y constante disposición para acompañar el desarrollo de este trabajo.

De igual manera, extiendo mi agradecimiento al Instituto de Ciencias y Humanidades, por el respaldo institucional brindado durante la ejecución de esta investigación, así como al Laboratorio de Biología del Centro Educativo Bertolt Brecht, por facilitar los recursos y espacios necesarios para la realización de las prácticas experimentales y el levantamiento de información que hicieron posible este estudio.

A todos quienes contribuyeron de alguna manera, gracias infinitas.

Estefani Katherine Casazola Otoyá

ÍNDICE

DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
INDICE	v
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
ÍNDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE ANEXOS	x
RESUMEN	xi
ABSTRACT	xii
INTRODUCCIÓN	xiii
CAPÍTULO I.	
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.1. Descripción de la realidad problemática.....	1
1.2. Formulación del problema.....	4
2.1.1 Problema general.....	4
2.1.2 Problemas Específicos.....	4
1.3. Objetivos de la investigación.....	5
2.2.1 Objetivo general.....	5
2.2.2 Objetivos específicos.....	5
1.4. Justificación de la investigación.....	6
1.5. Delimitaciones del estudio.....	7
1.6. Viabilidad del estudio.....	8

CAPITULO II. MARCO TEÓRICO	9
2.1 Antecedentes de la investigación	9
2.1.1 Antecedentes internacionales	9
2.1.2 Antecedentes nacionales.....	12
2.2 Bases teóricas.....	15
2.3 Bases filosóficas	32
2.4 Definiciones de términos básicos.....	33
2.5 Hipótesis de investigación	34
2.5.1 Hipótesis general.....	34
2.5.2 Hipótesis específicas.....	34
2.6 Operacionalización de las variables.....	36
CAPITULO III. METODOLOGIA	37
3.1. Diseño metodológico.....	37
3.2. Población y muestra.....	40
3.2.1. Población	40
3.2.2. Muestra	40
3.3. Técnicas de recolección de datos.....	40
3.4. Técnicas para el procedimiento de la información	41
3.5. Matriz de consistencia.....	42
CAPITULO IV. RESULTADOS.....	44
4.1 Análisis de resultados.....	44
4.2 Contrastación de hipótesis.....	45
CAPÍTULO.V DISCUSIÓN.....	53
5.1 Discusión de resultados.....	53
CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	61
6.1 Conclusiones	61

6.2 Recomendaciones.....	62
REFERENCIAS	63
ANEXOS.....	73

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estructura química del estireno y poliestireno.

Figura 2. Proceso de transformación de poliestireno expandible.

Figura 3. Ciclo de vida de *Tenebrio molitor*.

Figura 4. Tasas de supervivencia de larvas de *T. molitor* alimentadas únicamente con salvado, PES y sin alimentar.

Figura 5. Modelo conceptual de biodegradación de plásticos en el tracto intestinal de los insectos.

Figura 6. Ciclo de vida de *Tenebrio molitor*.

Figura 7. Distribución de tratamientos y repeticiones por tratamiento para *Tenebrios molitor* y *Zophobas morio*

INDICE DE TABLAS

- Tabla 1.** Clasificación de plásticos según el Código de Identificación de Plástico
- Tabla 2.** Clasificación taxonómica de *Tenebrios molitor*
- Tabla 3.** Clasificación taxonómica de *Zophobas morio*
- Tabla 4.** Biodegradación de poliestireno expandido entre larvas de *Tenebrios molitor* y *Zophobas morio* para mitigar la contaminación por plásticos.
- Tabla 5.** Matriz de consistencia
- Tabla 6.** Consumo semanal por larvas de *Tenebrios molitor* (g) del tratamiento T1 (100% PES) y T2 (50% PES+50% harina de avena)
- Tabla 7.** Consumo semanal (g) por larvas de *Zophobas morio* del tratamiento T1 (100% PES) y T2 (50% PES+50% harina de avena)
- Tabla 8.** Tasa de degradación de PES (7g por/tratamiento/ única vez) por larvas de *Tenebrios molitor*
- Tabla 9.** Tasa de degradación diaria de PES para *Zophobas morio* (% por día)¹
- Tabla 10.** Influencia de concentraciones variables de poliestireno (EPS) en el peso corporal (g) de larvas de *Tenebrio molitor* durante un ciclo de ocho semanas
- Tabla 11.** Peso (g) de larvas de *Zophobas morio* alimentados con poliestireno Expandido (PES)
- Tabla 12.** Longitud (cm) de larvas de *Tenebrios molitor* alimentados con diferentes niveles de poliestireno (PES)
- Tabla 13.** Longitud (cm) de larvas de *Zophobas morio* alimentados con poliestireno expandido (PES)
- Tabla 14.** Contenido de Nitrógeno en excretas de larvas de *Tenebrio molitor* y *Zophobas morio*
- Tabla 15.** Germinación, Longitud de raíz, longitud de planta y mortalidad de semilla de lechuga teniendo como sustrato los cuatro tratamientos

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Pesos (g) y longitud (cm) de larvas de *Tenebrios molitor*

Anexo 2. Peso (g) y longitud (cm) de larvas de *Zophobas morio*

Anexo 3. Datos sobre germinación, tamaño de raíz, longitud de planta y mortalidad, de la semilla de lechuga sometida a cuatro tratamientos

Anexo 4. Consumo de PES (g) por larvas de *Tenebrios molitor*, durante cuatro semanas

Anexo 5. Consumo de PES (g) por larvas de *Zophobas morio*, durante cuatro semanas

Anexo 6. Tabla de ANOVA para el Peso (g) de larvas de *Zophobas morio*, alimentados con tres niveles de PES

Anexo 7. Tabla de ANOVA para la Longitud (cm) de larvas *Zophoba morio* alimentados con diferentes niveles de PES

Anexo 8. Contenido de Nitrógeno en excretas de larvas de *Tenebrios molitor*

Anexo 9. Contenido de Nitrógeno en excretas de larvas de *Zophobas morio*

Anexo 10. Registro Fotográfico del Proceso de Desarrollo de la Investigación

RESUMEN

Objetivo: Evaluar cómo la composición de la dieta para larvas de *Tenebrio molitor* y *Zophobas morio* afecta la biodegradación de poliestireno expandido (PES) y la calidad de sus excretas como biofertilizante en lechuga (*Lactuca sativa*). **Metodología:** Se utilizaron 720 larvas (360 de cada especie), distribuidas en tres tratamientos dietarios con cuatro réplicas cada uno: T0 (control, 100% avena), T1 (100% PES) y T2 (50% PES + 50% avena). Se midió el consumo de PES, tasa de degradación, peso, longitud y mortalidad. Posteriormente, las excretas se aplicaron como sustrato en lechuga bajo los tratamientos: T0 (agua destilada), T1 (excretas de T1) y T2 (excretas de T2). Se evaluó la tasa de germinación, longitud de raíz y plántula, y mortalidad. Los datos se analizaron con pruebas t de Student pareada y ANOVA. **Resultados:** Las larvas de ambas especies en el tratamiento T2 mostraron un mayor consumo y tasa de degradación de PES, junto con un mejor desarrollo en peso y talla en comparación con T1. Sin embargo, las excretas generadas a partir de dietas que contenían PES (T1 y T2) resultaron en una menor tasa de germinación, un desarrollo radicular y de la plántula reducido, y una mayor mortalidad en las plántulas de lechuga. **Conclusión:** La dieta mixta a base de un sustrato nutritivo (avena) con PES logró una biodegradación eficiente del plástico por estas larvas. No obstante, las excretas producidas presentan un efecto fitotóxico que inhibe la germinación y el crecimiento inicial de la lechuga, lo que limita su uso directo como biofertilizante.

Palabras clave: Biodegradación, fitotoxicidad, poliestireno expandido, *Tenebrio molitor*, *Zophobas morio*, biofertilizante

ABSTRACT

Objective: To evaluate how the dietary composition of *Tenebrio molitor* and *Zophobas morio* larvae affects the biodegradation of expanded polystyrene (EPS) and the quality of their frass as a biofertilizer on lettuce (*Lactuca sativa*). **Methodology:** A total of 720 larvae (360 of each species) were used, distributed across three dietary treatments with four replicates each: T0 (control, 100% oats), T1 (100% EPS), and T2 (50% EPS + 50% oats). EPS consumption, degradation rate, weight, length, and mortality were measured. Subsequently, the frass was applied as a substrate for lettuce under the treatments: T0 (distilled water), T1 (frass from T1 larvae), and T2 (frass from T2 larvae). Germination rate, root length, seedling length, and mortality were evaluated. Data were analyzed using paired Student's t-test and ANOVA. **Results:** Larvae of both species in the T2 treatment showed higher EPS consumption and degradation rate, along with better development in weight and size compared to T1. However, the frass produced from diets containing EPS (T1 and T2) resulted in a lower germination rate, reduced root and seedling development, and higher mortality in lettuce seedlings. **Conclusion:** The mixed diet based on a nutritive substrate (oatmeal) with EPS achieved efficient plastic biodegradation by these larvae. However, the resulting frass exhibited a phytotoxic effect that inhibits the germination and initial growth of lettuce, limiting its direct use as a biofertilizer.

Keywords: Biodegradation, phytotoxicity, expanded polystyrene, *Tenebrio molitor*, *Zophobas morio*, biofertilizer.

INTRODUCCIÓN

La expansión global de la industria ha consolidado a los plásticos como materiales omnipresentes, generando volúmenes masivos de residuos de lenta descomposición que hoy contaminan desde los ecosistemas hasta la cadena alimentaria. A nivel mundial, el sector de envases y embalajes, destinado mayoritariamente a productos de un solo uso, es responsable de más de un tercio de la producción plástica. Aunque estos materiales ofrecen utilidad en diversos ámbitos, su proliferación desmedida conlleva una grave contaminación del suelo, el agua y una creciente amenaza para el bienestar humano. Según la OCDE (2022), en 2019 se generaron 353 millones de toneladas (Mt) de residuos plásticos, de los cuales solo el 9% fue reciclado. El 69% se gestionó mediante incineración o disposición en vertederos, mientras que el 22% restante fue liberado al medio ambiente.

Esta problemática se replica a escala nacional. En el Perú, los residuos plásticos representan aproximadamente el 10% de los residuos sólidos municipales, con una generación anual de 1.2 Mt. Sin embargo, apenas el 10% de este flujo se recicla, lo que equivale a un consumo per cápita de 30 kg anuales (La República, 2023; MINAM, 2018). En respuesta, el Estado peruano promulgó la Ley N° 30884 (MINAM, 2019), que regula los plásticos de un solo uso y prohibió el poliestireno expandido (PES), conocido localmente como "tecnopor", para envases y recipientes desechables.

El impacto de estos residuos es multifacético. Socioeconómicamente, implican altos costos de gestión y reciclaje, además de afectar la salud pública al degradar ecosistemas que proveen bienes esenciales como alimentos y agua (MINAM, 2021). Ecológicamente, su persistencia amenaza la biodiversidad; los plásticos, ingeridos por fauna marina, introducen

microplásticos (<5 mm) en la cadena trófica. Su posterior consumo humano se ha asociado a riesgos como alteraciones endocrinas, problemas reproductivos y cáncer (Isenaj, 2023; Contreras, 2023).

Entre los plásticos de difícil gestión destaca el poliestireno expandido (PES), ampliamente utilizado en empaques y bandejas descartables. Por sus propiedades químicas, este material no es biodegradable bajo condiciones ambientales convencionales (ANAPE, 2024; Barnes et al., 2007), lo que exige explorar alternativas de degradación eficientes y ambientalmente sostenibles. Una vía prometedora es la biodegradación mediada por insectos. Estudios pioneros, como el de Yang et al. (2015), demostraron la capacidad de las larvas de *Tenebrio molitor* para degradar PES. En el Perú, investigaciones recientes han confirmado esta habilidad en *T. molitor* (Daviran Yance, 2017; Vera Marmanillo, 2021; Valladolid Medina, 2023). No obstante, existen vacíos respecto al potencial comparativo de especies como *Zophobas morio* y, crucialmente, sobre la valorización de sus excreta como subproducto útil.

Por lo tanto, la presente investigación busca evaluar cómo la composición de la dieta proporcionada a larvas de *T. molitor* y *Z. morio* influye en la eficiencia de biodegradación del poliestireno expandido (PES) y, simultáneamente, determinar el efecto de sus excretas como biofertilizante en la germinación y el desarrollo inicial de plántulas de lechuga (*Lactuca sativa*). Este enfoque integrado pretende contribuir a una estrategia de economía circular, transformando un residuo persistente en un recurso para la agricultura.

CAPITULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de la realidad problemática

El desarrollo económico de varios países, en los últimos siglos, se ha logrado gracias a un factor clave, la industria. Esta actividad ha contribuido en gran medida a la innovación tecnológica y modernización de los procesos productivos. Sin embargo, como consecuencia, el sector industrial genera grandes volúmenes de residuos plásticos y por su poca descomposición tras años de uso se pueden encontrar en todas partes, desde el aire hasta en los alimentos. Los plásticos se utilizan en los diferentes procesos productivos industriales, de los cuales, el 36% de plásticos se generan en el sector de envasado que producen productos de un sólo uso. Otro sector importante en el que está presente el plástico es la pesca, según el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA, 2023) estudios recientes muestran que más de 100 millones de libras de plástico llegan al océano originados de las redes y anzuelos en la pesca. La agricultura, la ganadería y la industria de la moda también son sectores que generan plástico como residuos.

Si bien los productos de plásticos son útiles en varios sectores, su expansión desmesurada genera contaminación del suelo, agua y compromete el bienestar humano. Según la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OECD, 2022), en el año 2019, se produjeron 460 Mt de plásticos y se generaron 353 Mt de residuos de plástico, de esta cantidad sólo el 9% se recicla, el 69% se incinera o entierra y el 22% restante termina en el medio ambiente.

Actualmente, la contaminación por estos residuos es un problema muy grave, comprometiendo la biodiversidad, como ejemplo se puede indicar que una media 8 Mt 1de plástico por año llega a los océanos, equivalente a vaciar un camión de basura lleno

de plástico por minuto (Fundación Ecología y Desarrollo [ECODES], 2019).

Un panorama similar se registra a nivel nacional, según datos del Ministerio del Ambiente (MINAM, 2018), los residuos plásticos pertenecen al 10% del total de residuos sólidos producidos diariamente, con una producción anual de residuos de plástico es de 1,2 Mt, de los cuales sólo el 10% se recicla, esto equivale a un consumo de 30kg de plástico por habitante/año (La República, 2023). Frente a este problema, el MINAM (2019) promueve el cumplimiento de la Ley N°30884 que regula el plástico de un solo uso, recipientes descartables y prohíbe la producción y uso del Tecnopor desde el año 2018.

Los residuos de plásticos ocasionan problemas a nivel socioeconómico, ya que la acumulación de residuos de plástico en el litoral peruano genera una reducción del turismo, generan mayores gastos a la inversión pública por la contratación de servicios de limpieza, además de tener un costo alto de reciclaje y afectar la salud de la población porque deterioran los ecosistemas y, por ende, los bienes y servicios como alimentación y agua saludable (MINAM, 2021). Por otro lado, estos residuos afectan el ecosistema y biodiversidad porque los plásticos son difíciles de remover del cuerpo de especies marina como peces, esto también conlleva a un riesgo para la salud pública debido a la presencia de microplásticos en los alimentos (Contreras, 2023). Los microplásticos son partículas menores a 5mm que son consumidos por el ser humano en pescados, mariscos, agua embotellada y pueden originar problemas de salud como alteraciones endocrinas, disminución de la salud reproductiva y cáncer (Isenaj, 2023).

No todos los plásticos son iguales, estos se clasifican en siete categorías, dependiendo su facilidad para ser reciclados, entre estos se encuentran los poliestirenos, que a su vez

se puede encontrar los del tipo expandido (PES) comúnmente conocido como “Tecnopor” que son utilizados principalmente en la fabricación envases y bandejas de comida rápida (Barnes et al., 2007). Debido a sus propiedades biológicas, *este* tipo de plástico no se descompone por acción bacteriana, es decir no es biodegradable (Asociación Nacional del Poliestireno Expandido [ANAPE], 2024). Esto evidencia la necesidad de idear alternativas para facilitar la degradación sin generar contaminante para el ambiente, entre estas opciones se puede mencionar el uso de larvas de insectos como el *T. molitor* y *Z. morio*, que tienen la capacidad de digerir los residuos de plásticos para generar nutrientes para su desarrollo. Según la literatura, Yang et al. (2015) fueron los primeros en demostrar la degradación de poliestireno expandido por parte de larvas de *T. molitor* de forma eficiente. En nuestro país, se han realizado investigaciones que han evaluado la capacidad de degradar el plástico por parte de *T. molitor* (Daviran Yance, 2017; Vera Marmanillo, 2021; Valladolid Medina, 2023), sin embargo, no se han realizado comparaciones con *Z. morio*, además de evaluar el uso potencial de sus excretas que los revalorizan como abono en la agricultura disminuyendo así el impacto negativo de esta actividad contribuyendo a la economía circular.

Por lo expuesto, se pretende realizar una investigación para determinar y comparar la biodegradación de poliestireno expandido utilizando larvas de *T. molitor* y *Z. morio* bajo condiciones controladas específicas en el distrito de Carabaylo, Lima, Perú.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿De qué manera la composición de la dieta proporcionada a las larvas de *T.*

molitor y *Z.morio* incide en la eficiencia de biodegradación de poliestireno expandido (PES) y, a su vez, cómo afecta la calidad de sus excretas como biofertilizante en la germinación y desarrollo de plántulas de lechuga (*L. sativa*)?

1.2.2. Problemas Específicos

¿El consumo de poliestireno expandido (PES) por parte de las larvas de *T.molitor* y *Z. morio* varía de forma significativa según la especie y el tratamiento dietario al que sean sometidas?

¿La tasa de biodegradación del poliestireno expandido (PES) por parte de las larvas de *T. molitor* y *Z. morio* está influenciada significativamente por el tipo de dieta alimenticia suministrada'?

¿La dieta suplementada con poliestireno expandido (PES) influye en la biomasa (peso) de las larvas de *T. molitor* y *Z.morio*?

¿La dieta suplementada con poliestireno expandido (PES) influye en el crecimiento (longitud) de las larvas de *T.molitor* y *Z. morio*?

¿La dieta suplementada con poliestireno expandido (PES) influye en el contenido de nitrógenos en las excretas de las larvas de *Tenebrio molitor* y *Zophobas morio*?

¿El uso de excretas de *T. molitor* y *Z. morio* criadas con dietas que contienen diferentes niveles de PES como sustrato, influirá significativamente en el porcentaje de germinación, el crecimiento radicular, el tamaño y mortalidad de las plántulas de lechuga (*Lactuca sativa*)?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo general

Evaluar de qué manera la composición de la dieta proporcionada a las larvas de *T. molitor* y *Z. morio* incide en la eficiencia de biodegradación de poliestireno expandido (PES) y, a su vez, cómo afecta la calidad de sus excretas como biofertilizante en la germinación y desarrollo de plántulas de lechuga (*L. sativa*).

1.3.2. Objetivos específicos

Determinar si el consumo de poliestireno expandido (PES) por parte de las larvas de *T. molitor* y *Z. morio* varía de forma significativa según la especie y el tratamiento dietario al que sean sometidas.

Determinar si la tasa de biodegradación del poliestireno expandido (PES) por parte de las larvas de *T. molitor* y *Z. morio* está influenciada significativamente por el tipo de dieta alimenticia suministrada.

Determinar si la dieta suplementada con poliestireno expandido (PES) influye en la biomasa (peso) de las larvas de *Tenebrio* y *Z. morio*.

Determinar si la dieta suplementada con poliestireno expandido (PES) influye en el crecimiento (longitud) de las larvas de *T. molitor* y *Z. morio*.

Determinar si la dieta suplementada con poliestireno expandido (PES) influye en el contenido de nitrógeno de las excretas de las larvas de *T. molitor* y *Z. morio*.

Determinar si el uso de excretas de *Tenebrio molitor* y *Zophobas morio* criadas con dietas con diferentes niveles de PES como sustrato, influirá significativamente en el porcentaje de germinación, el crecimiento radicular, el tamaño y mortalidad de las

plántulas de lechuga (*Lactuca sativa*).

1.4. Justificación de la investigación

La investigación “Comparación de biodegradación de poliestireno expandido entre larvas de *T. molitor* y *Z. morio* para mitigar la contaminación por plásticos”, se justifica según los siguientes aspectos:

Social: porque el incremento en la generación de residuos plásticos en la industria cada vez es un problema que afecta el aspecto socioeconómico y compromete la salud y bienestar humano, ya que estos residuos en forma de microplásticos pueden contaminar los alimentos causando daños en la salud de la sociedad. Por ello, esta investigación evalúa la capacidad de degradación de poliestireno expandido por larvas de *T. molitor* y *Z. morio* y cuyos resultados puedan servir para mitigar la contaminación por plásticos.

Teórico: ya que esta investigación se basará en la aplicación de conceptos teóricos sobre las particularidades digestivas de los insectos de clase coleóptera *T. molitor* y *Z. morio* en la degradación de PES (Tecnopor), comparando ambas especies y evaluar su rendimiento. Esto con el propósito de verificar la revisión de literatura y a la vez contribuir con aspectos teóricos al comparar el rendimiento en la biodegradación de PES en ambas especies bajo las mismas condiciones, ya que se han realizado investigaciones, pero evaluando principalmente al *T. molitor* y otros cada especie por separado.

Práctico: porque los coleópteros *T. molitor* y *Z. morio* se crían de forma sencilla, lo que facilita su aprovechamiento como degradador de plásticos, además de generar subproductos útiles para la agricultura. Por ello se espera que los resultados obtenidos sustenten la replicación a mayor escala, en zonas con mayor generación de residuos en

beneficio de la comunidad. También se pretende dar un valor agregado a este estudio, evaluando el uso de las heces de larvas de *T. molitor* y *Z. morio* como abono para la germinación y desarrollo radicular en semillas de lechuga. De esta forma consolidar el uso de subproductos obtenidos y contribuir a la economía circular.

De pertinencia: porque el tema de esta investigación responde a las necesidades actuales de la población, en un entorno donde el uso eficiente de los recursos para generar menor impacto ambiental y aspectos relacionados a la economía circular toman cada vez mayor interés.

Metodológico: porque esta investigación es referente para estudiantes y profesionales interesados en contribuir con alternativas para mitigar la contaminación con residuos de residuos plásticos.

1.5. Delimitaciones del estudio

Delimitación espacial: Esta investigación se realizó en el Colegio Bertolt Brecht perteneciente a la Corporación Instituto de Ciencias y Humanidades, localizado en el distrito de Carabaylo, Lima. La elección del lugar como área de estudio se debe a la disponibilidad de instalaciones, laboratorios y equipos necesarios para realizar la fase experimental. Por otro lado, se desea contribuir con este distrito, ya que, según el Diario El Comercio (2023), Carabaylo produce 5 691,36 t de plástico y sólo el 5,45% es reciclado.

Delimitación temporal: El estudio se enfocó en un periodo de seis meses, comprendido entre mayo y octubre del 2025. Esta selección temporal se justifica en la disponibilidad de realizar la fase experimental, considerando que la fase larvaria de los coleópteros a evaluar, tiene una duración aproximada de dos meses. Por otro lado, el periodo de germinación de la lechuga es una semana. Al limitar esta investigación en

este intervalo de tiempo se garantizará la revisión de literatura, desarrollo experimental, recolección adecuada y análisis de datos, así como la redacción de la discusión y documento final de tesis.

Delimitación de la población: Para la investigación, la población de estudio comprende las especies de coleópteros *T. molitor* (conocidos como gusano de la harina) y *Z. morio* (super gusano) que fueron criados bajo condiciones de laboratorio para cumplir los objetivos de esta investigación en el laboratorio. Estos coleópteros se han seleccionado como objeto de estudio por su ciclo de vida corto y capacidad para degradar el poliestireno expandido (PES).

1.6. Viabilidad del estudio

Esta investigación es viable según los siguientes aspectos:

Viabilidad técnica: porque el investigador tiene acceso a fuentes de información en revistas, libros y repositorios sobre el tema desarrollado. Además, se dispone de las larvas de *T.molitor* y *Z.morio*, también se tiene acceso a las instalaciones, equipo y personal del laboratorio, el cual es adecuado para el seguimiento y control de la etapa experimental.

Viabilidad operativa: porque la tesista labora en dicha institución, lo que facilitó el desarrollo de la investigación, ya que se dispone de las capacidades y tiempo para el cumplimiento del protocolo operativo para la alimentación con PES de las larvas, recolección de datos y seguimiento minucioso de la investigación.

Viabilidad económica: porque se dispone de los recursos económicos para cubrir los gastos necesarios para la compra de las larvas, PES, otros insumos y análisis de laboratorio que se requieran.

CAPITULO II. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

2.1.1. Antecedentes internacionales

A nivel mundial la contaminación por residuos plásticos es un problema, por ello en varios países se han abordado investigaciones relacionadas al tema y de cómo reducir su impacto buscando técnicas que favorezcan su degradación. A continuación, se presentan investigaciones sobre la utilización de *T. molitor* y *Z. morio* para degradar PES.

Di Liberto et al. (2024), en Italia, realizaron el estudio: “Biodegradation of polystyrene by plastic-eating Tenebrionidae larvae”. El objetivo de su investigación fue evaluar la degradación del poliestireno por larvas de *T. molitor* y *Z. morio*, para ello plantearon 6 tratamientos según la dieta experimental: *T. molitor* + salvado de trigo (T1), *T. molitor* + PES (T2), *T. molitor* + PES tratado con H₂O₂ (T3), *Z. morio* + salvado de trigo (T4), *Z. morio* + PES (T5) y *Z. morio* + PES tratado con H₂O₂ (T6). Las variables evaluadas fueron el cambio de masa de las larvas y la tasa de supervivencia. El excremento producido se recogió a los 15 y 30 días y se evaluaron mediante microscopia. Los resultados para peso normalizado de las larvas de *T. molitor* indicaron que, para el T1 tuvo un incremento de ~8,5%, para T2 y T3 no hubo incrementos. Para el caso de *Z. morio*, el T4, T5 y T6 obtuvieron valores de ~0,5%; ~2,8 % y ~5,8 % por debajo del valor inicial. Las tasas de supervivencia para *T. molitor* en los T1, T2 y T3 fueron 94, 83 y 87%, respectivamente. Mientras que, para *Z. morio*, en los T4, T5 y T6 fueron 73, 80 y 100%, respectivamente. Los autores concluyen que ambas larvas, tienen la capacidad biodegradar el PES y que el cambio de masa y tasa de supervivencia son similares a lo obtenido en larvas alimentadas con salvado de trigo, es decir pueden sobrevivir siendo alimentadas con plástico en lugar de salvado.

Octavia et al. (2023), en Indonesia, realizaron su investigación: “Low-density polyethylene sheet biodegradation by *T.molitor* and *Z. morio* larvae and metagenome studies on their gut bacteria”, su objetivo fue determinar la biodegradación de láminas de plástico de LDPE y explorar la diversidad de las bacterias intestinales de las larvas. La metodología utilizada consistió en obtener láminas de LDPE y cortarlas en trozos de 3 cm x 3 cm de tamaño, se recolectaron 100 larvas de *T. molitor* y 100 de *Z. morio*, las cuales tenían un tiempo de 90 y 60 días, respectivamente. Las larvas de *T. molitor* midieron 2,18 cm de longitud y pesaron 27 mg, mientras que *Z. morio* midieron 3,94 cm de longitud y $608,5 \pm 0,12$ mg. Las larvas fueron alimentadas 1 semana con molienda de arroz, luego de 3 días de ayuno se les suministró las láminas de plástico por 30 días. Sus resultados mostraron que las larvas podían degradar el plástico con índices de reducción de peso 44,6% y 16,7% para *T. molitor* y *Z. morio*, respectivamente. Las láminas de plástico examinadas con un microscopio estereoscópico mostraron que las láminas del grupo control presentaron bordes lisos, mientras que, las del tratamiento con larvas presentaron bordes arrugados con más daños para los que fueron consumidos por *T. molitor*.

Sun et al. (2022), desarrollaron el estudio: “Insights into plastic biodegradation: community composition and functional capabilities of the superworm (*Z. morio*) microbiome in styrofoam feeding trials”, cuyo objetivo fue evaluar la supervivencia de los supergusanos *Z. morio* criados únicamente con espuma de poliestireno expandido (PES) e investigar cambios en su microbioma intestinal. La fase experimental inició con 171 supergusanos que fueron divididos en tres grupos con tres réplicas de 15 supergusanos cada una. Por una semana fueron alimentados con salvado de trigo y zanahorias. Después de este período, 4 supergusanos de cada réplica fueron congelados en nitrógeno líquido (-80 °C). Los 135 supergusanos restantes fueron sometidos por 3 semanas, a uno de los siguientes tratamientos según su alimentación: sólo salvado de trigo (T1), sólo poliestireno

(T2) y sin suministro de alimentos (T3). Los datos de pesos de los supergusanos y de los bloques de poliestireno se registraron dos veces por semana. Después de estas 3 semanas, 15 supergusanos de cada tratamiento fueron separados para una evaluación de pupación, los supergusanos sobrantes fueron congelados en nitrógeno líquido para análisis de metagenómica. Los resultados obtenidos por estos autores revelan que las tasas de supervivencia en los tres grupos estuvieron por encima del 95% después de 3 semanas. El peso de los supergusanos alimentados con salvado fue superior que los alimentados con PS y el tratamiento de inanición ($P < 0,001$). El consumo de PS impactó en el ciclo de vida de *Z. morio*, ya que se obtuvo tasas de pupación de 92,9, 66,7 y 10,0% para T1, T2 y T3, respectivamente. Estos autores concluyen que, los supergusanos alimentados sólo con PS tuvieron una pérdida de diversidad del microbioma intestinal, además del menor incremento de peso, indican malas condiciones de supervivencia lo que podría dificultar su uso para el reciclaje de PS, por lo que podría ser necesario complementar la dieta de la espuma de poliestireno con desperdicios de alimentos, para evitar problemas e incrementar la salud del microbioma intestinal, esto contribuiría al aprovechamiento de los residuos de subproductos agrícolas por parte de los supergusanos.

Bulak et al. (2021) con su investigación en Polonia: “Biodegradation of different types of plastics by *Tenebrio molitor* insect”, tuvieron como objetivo demostrar la capacidad que tiene este insecto para biodegradar de diferentes plásticos. Las larvas de *T. molitor* se alimentaron con salvado de trigo y criados en recipientes de plástico en el Departamento de Biogeoquímica del Medio Natural, Instituto de Agrofísica PAS, Lublin, Polonia. Se probaron 4 tipos de plásticos: espuma de Poliestireno (PES), espuma de poliuretano (PU1), espuma aislante térmica de poliuretano (PU2) y espuma de polietileno (PE). El experimento duró 58 días, después de los cuales se evaluó la tasa de utilización de plástico. Como resultados obtuvieron una eficiencia en la reducción de masa para todos los plásticos

del 46,5%, 41,0%, 53,2% y 69,7% para PS, PU1, PU2 y PE, respectivamente. También evaluaron las características morfológicas de las larvas, observando una disminución en el peso y tamaño de las larvas. Los autores concluyen que las larvas consumen el plástico activamente.

2.1.2. Antecedentes nacionales

En los últimos años, en nuestro país la contaminación por el uso de poliestireno expandido (PES) conocido como “Tecnopor” se ha convertido en un desafío, pese a que existe una ley vigente que prohíbe su uso y comercialización, este material sigue circulando, causando problemas por los nulos centros de acopio de este material, además de su difícil degradación.

Teniendo conocimiento sobre las capacidades de degradación de PES por ciertos coleópteros, se han realizado algunas investigaciones que se detallan a continuación: Díaz Méndez et al. (2023), realizaron la tesis: “Larvas de *Tenebrio molitor* con sustratos orgánicos en la biodegradación de residuos de poliestireno expandido (PES) a escala de laboratorio, Callao 2023. En dicho trabajo el objetivo fue evaluar la eficiencia de las larvas de *T. molitor* con sustratos orgánicos en la biodegradación de residuos de PES. La metodología consistió en un diseño experimental factorial 4x4, cuyos factores fueron el tipo de sustrato: PES solo, y PES + sustratos orgánicos de cáscaras de papa, hojarasca y salvado de trigo, y la dosis (0, 25, 50 y 75%). El PES utilizado fue residuos de embalaje de electrodomésticos. Se utilizaron celdas de vidrio de 0,1 x 0,1 x 0,1 m, en cada una de ellas se depositaron 100 larvas con el respectivo sustrato y dosis. Se evaluó la masa de residuos sólidos de PES biodegradada, % de biodegradación, así como el número, masa y longitud de larvas. El % de biodegradación de para el grupo alimentado sólo con PES fue de 19,24% mientras que, los grupos alimentados con los sustratos orgánicos lograron en promedio

34,45%. No se encontraron diferencias significativas para la masa de PES biodegradada, % de biodegradabilidad, masa de larvas, N° de larvas y longitud de las larvas entre grupos alimentados con PES y sustratos. Por el contrario, según la dosis de sustrato si se reportaron diferencias significativas para la masa de PES biodegradada, % de biodegradabilidad. Los autores concluyen que las larvas de *T. molitor* alimentados con sustratos orgánicos degradan eficientemente los residuos de PES, ya que estos grupos se observó un incremento del % de biodegradación, sin identificar algún sustrato orgánico como óptimo, ya que todos fueron similares. Respecto a la dosis óptima fue la de 75% para todos los sustratos, ya que lograron el mayor % de biodegradación con 53,17%.

Valladolid Medina (2023), en Arequipa, en su tesis intitulada: “Biodegradación del poliestireno expandido mediante el uso de la especie *Tenebrio molitor* (gusano de harina), Arequipa – 2022” tuvo el objetivo evaluar la biodegradación del PES usando *T. molitor*. Para lograr este objetivo planteó un diseño experimental que constó de dos tipos de poliestireno expandido: vasos y residuo de embalaje de 2 y 18 mm de espesor, respectivamente, que fueron suministrados a los *T. molitor* distribuidos en 4 peceras con 100 gusanos cada una y otras 4 peceras con 150 gusanos cada una. Las variables evaluadas a los 29 días después fueron: consumo de PES y % de biodegradación de PES. El consumo promedio de PES proveniente de vasos fue de 0,048 y 0,128g para las peceras con 100 y 150 gusanos, respectivamente. Mientras que, para las peceras con 150 gusanos alimentados con residuos de embalaje fue de 0,043 y 0,075 g. Respecto a la biodegradación registró valores promedio de 2,5 y 3,6% para el grupo de peceras con 100 gusanos alimentados con vasos; 2,2 y 1,9% para el grupo de peceras con 150 gusanos alimentados con embalajes. El Análisis de Varianza demostró que no existe efecto significativo para el tipo de PES y la cantidad de gusanos por pecera en el consumo y % de biodegradación de PES. Finalmente, concluyeron que el PES de 18 mm tiene una degradación eficiente al emplear

100 gusanos por pecera, además la alimentación con PES no tuvo efectos negativos en el desarrollo del *T. molitor*, ya que pasaron de la fase larvaria a escarabajo con normalidad.

Chavez y Riofrio (2019), en Lima, realizaron la tesis “Evaluación de la influencia de la función digestiva del *Z. morio* en la biodegradación de tres tipos de plástico”. El objetivo de su trabajo fue evaluar cómo influye la función digestiva del *Z. morio* en la degradación de 3 tipos de plástico. Las autoras plantearon dos tratamientos para evaluar la degradación de poliestireno (tecnopor), polietileno de alta densidad (bolsas de basura negra) y polietileno de baja densidad (bolsas comerciales rosadas). Los tratamientos fueron: degradación mediante una mezcla del tracto digestivo y degradación utilizando larvas vivas de *Z. morio*. El periodo de tiempo evaluado fue de 42 días. Sus resultados evidenciaron que la mezcla de tracto digestivo causó cambios y los microorganismos presentes reaccionaron con el plástico. El tratamiento de mezcla digestiva obtuvo un % de degradación de 91,8; 63 y 75,2 % para el poliestireno, polietileno de alta densidad y de baja densidad, respectivamente. Por otro lado, el peso de las larvas incrementó en 7,87% para aquellas que consumieron poliestireno, 13,38% para polietileno de alta densidad y 7,83% para polietileno de baja densidad con ganancia de peso de 0,39; 0,63 y 0,40 gramos, respectivamente. Asimismo, la reducción de peso de poliestireno, polietileno de alta y baja densidad fue 98,8; 82,6 y 52%, respectivamente, cuando fueron consumidas por las larvas. Concluyeron que ambas formas, mezcla digestiva y larvas son eficientes en la degradación de los tres tipos de plástico.

Daviran Yance (2017) desarrolló su tesis “Biodegradación de la espuma de poliestireno por la larva del *Tenebrio molitor* para la producción de Abono, 2017” con el objetivo de evaluar la biodegradación de la espuma de poliestireno por la larva de *T. molitor* y cómo favorece a la producción de abono. Planteó 2 tratamiento que fueron: dieta sólo de EPS con densidad D10 (10 kg/m³) en 5 recipientes con capacidad de 1 kg de EPS con 40 gusanos cada
















uno. El otro tratamiento consideró una densidad D40 (40 kg/m³). Evaluó el consumo de poliestireno, la cantidad producida de excreta y cómo varió la biomasa. Respecto a la producción de abono evaluó el contenido de humedad, N, P, K. Según sus resultados, se registró un consumo promedio de 0,04 y 0,09 g de PES, una producción de excreta de 0,03 y 0,08 g a los 4 y 8 días, respectivamente para el tratamiento D10, mientras que, el tratamiento D40 obtuvo 0,06 y 0,14 g como consumo promedio de PES y 0,04 y 0,16 g de excreta producida a los 4 y 8 días. El abono producido tuvo un contenido de 4,4 y 3,2% de humedad; 3,9 y 1,1% de N; 0,2 y 0,3 de% P; 0,78 0,69 de K para D10 y D40, respectivamente. El autor concluye que la degradación de PES por *T. molitor* influye de forma positiva en la producción de abono.

2.2. Bases teóricas

El Código de Identificación de Plástico, creado en 1988 por la Sociedad de la Industria de Plásticos (SPI), es utilizado a nivel mundial y clasifica el plástico en 7 categorías con el objetivo de identificar el material y su capacidad de reciclaje. Estos se pueden identificar por una numeración del 1 al 7 dentro de un triángulo y se encuentran en una variedad de productos (Rodríguez, 2024). Por otro lado, su facilidad de reciclaje se mide en una escala de 1 a 4 (muy fácil a muy difícil). A continuación, se describen esta clasificación:

Tabla 1

Clasificación de plásticos según el Código de Identificación de Plástico

Símbolo	Tipo de plástico	Facilidad de reciclaje	Usos	Imagen
	PET o PETE Tereftalato de Polietileno	“1” Fácil Contiene sustancias tóxicas antimonio, formaldehído, acetaldehído y ftalato.	Botellas de bebidas y envases de alimentos (aderezos, cremas, mermelada, jaleas, farmacéuticos, etc.)	
	HDPE Polietileno de Alta Densidad	“1” Fácil Más resistente que el PET, contiene antimonio, bromo.	Envases no transparentes para leche, detergentes, shampoo, aceites, etc.	
	PVC Policloruro de Vinilo	“4” Muy difícil Contiene nonilfenol.	Tarjetas de crédito, envases para plomería, tuberías, y de construcción, etc.	
	LDPE Polietileno de Baja Densidad	“2” Factible Contiene ftalatos, aldehídos, cetonas, ácidos y carboxílicos.	Bolsas para compra, film adhesivo, protector de burbujas, bolsas para suero, etc.	
	PP Polipropileno	“2” Factible Contiene ftalato, aldehídos, cetonas, ácidos, carboxílicos, fenol y estimulantes de la esclerosis.	Tapas de botellas, sorbetes, recipientes, neveras, piezas de autos, jeringas, etc.	
	PS Poliestireno	“3” Difícil Contiene antimonio, bromo, estireno, etilbenceno, tolueno y benceno.	Cajas para CD, envases.	
	PSE Poliestireno Expandido		Rellenos de embalaje, cubiertos, aislantes, bandejas de comida, etc.	
	Otros Mezcla de plásticos	“4” Muy difícil Contenido de sustancias tóxicas depende del material	Incluyen otros materiales como autopartes, hieleras, etc.	

Nota. Información tomada y adaptada de Garza (2020) y Rodríguez (2024).

2.2.1 Poliestireno expandido

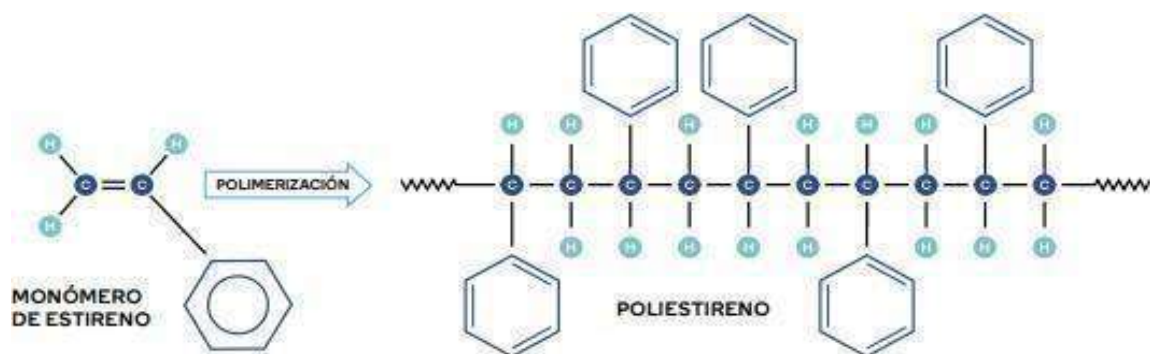
“El poliestireno (PES) es un material polimérico termoplástico amorfo denominado químicamente como polivinil benceno, que proviene principalmente de materiales fósiles como petróleo o carbón” (Martín Arranz, 2023, p. 4). Según el ANAPE (2024), el 6% del petróleo es destinado a la fabricación de plásticos y otros productos químicos.

La industrialización de la obtención de poliestireno comenzó en la década de los 30 por la empresa BASF. En 1936, se registró la primera patente para la fabricación de tubos de poliestireno en Estados Unidos, pero fue en 1950 que se patentó el método para la producción de poliestireno expandido, así como su aplicación en la industria eléctrica y producción de envases para alimentos. En 1960 se registró su aplicación para la construcción y fabricación de juguetes (Valdés-Rodríguez, 2021).

El poliestireno es un polímero que se forma a partir del monómero (Figura 1), su estructura química está formada por una cadena de hidrógeno y carbono, con el grupo fenol unido cada dos átomos de carbono (Murcia et al., 2021). Por otro lado, el PES se puede clasificar como: cristal, de alto impacto (HIPS), expandido (PES) y extrusionado.

Figura 1

Estructura química del estireno y poliestireno.

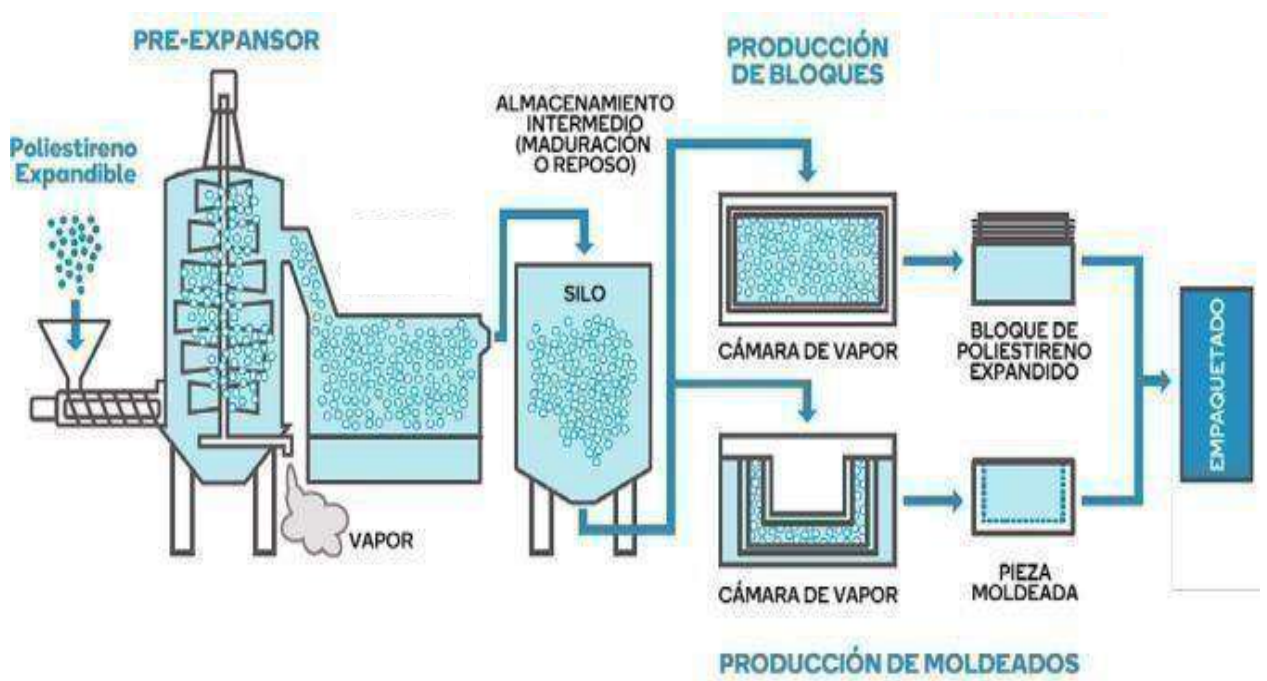


Nota. Tomado de la Entidad técnica profesional especializada en plásticos y medio ambiente (Ecoplas, 2020).

El Poliestireno Expandido (PES), se obtiene mediante un proceso de polimerización en un reactor donde el estireno, agua y el pentano (agente expansor), se polimeriza para obtener poliestireno expandible. Después de la polimerización, el producto obtenido pasa por otros procesos de centrifugado, secado, cribado y envasado, obteniendo perlas de poliestireno expandible (Ecoplas, 2020; ANAPE, 2024). Para fabricar productos terminados de poliestireno expandido, se deben seguir otras etapas posteriores: Pre-expansión, reposo intermedio y moldeado final (Figura 2).

Figura 2

Proceso de transformación de poliestireno expandible.



Nota. Tomado de Ecoplas (2020).

Las perlas de poliestireno expandible, que son compactas son colocadas en un Pre-expansor, que mediante vapor de agua a altas temperaturas modifican la densidad de estas perlas, pasando a ser perlas ligeras que contienen aire en su interior, por ello su tamaño es 40 veces mayor a la inicial. En la fase de reposo, estas perlas se secan y

ventilan en silos.

Finalmente, en el moldeado estas perlas son tratadas nuevamente con vapor de agua y colocadas en moldes, donde se pegan y presan para obtener bloques grandes o piezas moldeadas (Ecoplas, 2020; ANAPE, 2024).

a) Usos y aplicaciones

El poliestireno expandido es conocido comúnmente como “Tecnopor” en Perú, “Icopor” en Colombia, “Alucin” en México, “Telgopor” en Argentina, “Plumavit” en Chile (Fundéu RAE, 2009). Es liviano, de manipulación simple, reciclable, resistente a la humedad, es un buen aislante térmico y amortiguador de golpes, debido a estas propiedades su aplicación es muy variada principalmente en el sector de embalaje y envases para huevos, alimentos y bandejas de comida rápida (Barnes et al., 2007; Ecoplas, 2020).

En el sector del envasado y embalaje, el PES es un material líder y se utiliza en una gran variedad de productos porque brinda beneficios entre los que destacan su alta capacidad de protección (absorción de impactos) y de aislamiento térmico. También, su ligereza y su facilidad de moldeo permiten adaptarse a las necesidades de los productos a proteger, como embalajes de electrodomésticos, de delicados componentes electrónicos, o cajas isotérmicas para el transporte y distribución de pescado, productos farmacéuticos, mobiliario, etc., este material protege los productos desde la fábrica, pasando por toda la cadena hasta el consumidor final.

- En el sector de envasado y embalajes: Los productos elaborados con PES, son buenos como aislante térmico, tanto para frío como calor, por ello son utilizados en envases de alimentos, sobre todo aquellos que son perecederos o que requieren mantener temperaturas frías para conservarse mientras son transportadas como el pescado, frutas, verduras, helados, etc., además los envases de PES no tienen olor ni

sabor (Ecoplas, 2020; ANAPE, 2024). No sólo mantiene la temperatura fría, también mantiene el calor de bebidas calientes. Esto se debe a que el PES está compuesto en un mayor porcentaje (98%) de aire y 2% de poliestireno (ANAPE, 2024). Por otro lado, en el sector de embalajes, se utiliza para envolver electrodomésticos y protegerlos de golpes mientras se transportan, ya que el PES actúa como un almohadón, comprimiéndose y protegiendo a los productos de fuertes impactos.

- En el sector medicina: Gracias a estas propiedades también es utilizado en el sector medicina, en el embalaje de productos farmacéuticos, manteniendo la temperatura de vacunas o medicamentos que lo requieran, así como protección a envases frágiles como el vidrio.
- En otros sectores: el PES es utilizado en otros sectores como la náutica en la elaboración de boyas, muelles, así como en el sector construcción, como aislamiento térmico en muros (Ecoplas, 2020).

b) Impacto ambiental

El poliestireno expandido, gracias a sus propiedades es muy utilizado en diferentes sectores. Sin embargo, después de usarlos, se convierte en un desecho que es común encontrar en ecosistemas marinos, esto sumado a su lenta degradación que supera los 500 años y algunos no llegan a degradarse (Flores et al., 2020). Por otro lado, los PES pueden liberar algunas sustancias tóxicas que puede contribuir a la contaminación ambiental (Linseis, 2024). Las pequeñas partículas (menores a 5 mm) son conocidas como microplásticos y pueden ser consumidas por animales marinos, principalmente peces, que luego son ingeridos por el ser humano causando daños en el hígado, sistema nervioso, entre otros, debido a su componente estireno (Isenaj, 2023; Linseis, 2024).

Debido a estos problemas, la fabricación, distribución y uso de PES está

prohibido en algunas ciudades, desde el 2012 en Haití, a partir del 2015 en ciudades de Estados Unidos como Nueva York, Washington DC, San Francisco, Minneapolis, Portland y Seattle (BBC mundo, 2015), desde el 2018 en Aruba, Colombia, Guyana, Puerto Rico y las Islas Turcas. A partir del 2019 en Jamaica, Belice, Bahamas, Barbados, Costa Rica, Dominica, Granada y Trinidad y Tobago (Carranza Jiménez, 2019). En Perú, la ley que regula el uso de plásticos de un solo uso se promulgó en el 2018, si bien se veía un cambio positivo, la pandemia por coronavirus tuvo un impacto negativo debido al incremento en el uso de materiales descartables, aunque nuevamente se espera mejorar la situación (Comercio, 2023).

Según Martínez y Laines (2013):

El PES es un material químicamente inerte no biodegradable, es decir, no se descomponen, no se desintegra, no desaparecen en el medio ambiente y no contiene CloroFluoroCarburos (CFC), por consiguiente, los PES no puede químicamente contaminar el suelo, el agua o el aire. (p. 64)

Esto quiere decir que su reciclaje es importante, ya que no se pueden degradar, lo que puede ocasionar problemas al medio ambiente, al ser un material que contiene un 98% de aire requiere de mayor espacio para su almacenamiento. Este es el principal inconveniente, su disposición final, ya que el poliestireno representa el 6% de residuos plásticos en el planeta.

e) **Reciclaje**

Existen varias técnicas para reciclar los residuos de poliestireno expandido, entre ellas se pueden mencionar:

- **Mecánico:** es el más utilizado, por ser más simple y eficiente. Este método consiste en la trituración mecánica del material. Esto permite mezclarlo con material nuevo para obtener nuevos bloques de PES hasta con un 50% de material reciclado. También se pueden apelmazar para fundirse y obtener poliestireno como materia prima (Murcía et al., 2021; ANAPE, 2024).

- Físico por disolución: consiste en limpiar impurezas mediante una disolución, este método es la base del proceso PS-LOOP (ANAPE, 2024). Este método consiste en disolver los residuos de PES en tanques que contienen un líquido específico de PES, se filtran las impurezas y luego se agrega otro líquido que convierte el PES en un gel, mientras que el aditivo hexabromociclododecano (HBCD) queda en el líquido residual y se puede separar el gel de PES de los líquidos del proceso (PS Loop, 2024).
- Químico: consiste en realizar una despolimerización para obtener el estireno (ANAPE, 2024), aunque puede resultar peligroso al utilizar disolventes peligrosos (Martínez y Laines, 2013).

El poliestireno reciclado se utiliza en la fabricación de varios productos, como aislamiento térmico, útiles de oficina, perchas, macetas o envase de basura (Ecodes, 2019).

2.2.2. Biodegradación de plásticos

El poliestireno es un termoplástico, por su propiedad hidrófoba es resistente a la hidrólisis, su falta de solubilidad evita que los microorganismos puedan transportarlos a su interior para metabolizarlos. Según lo reporta Octavia (2023), algunos microorganismos capaces de degradar el plástico son bacterias, hongos y algas, aunque la tasa de degradación dependerá del grosor y peso molecular del plástico.

La biodegradación de plásticos es un proceso por el cual los microorganismos mediante enzimas utilizan como sustrato al plástico para su desarrollo. La degradación biológica puede comenzar en el exterior con la secreción de enzimas que actúan en la

superficie del poliestireno, degradándolo en pequeños fragmentos e incluso a monómeros de estireno, el cual puede ser utilizado por los microorganismos como fuente de carbono (Ho et al., 2017).

En los últimos años el estudio de la biodegradación de poliestireno usando larvas de insectos ha cobrado mayor importancia, ya que los microorganismos intestinales de insectos pueden ser eficaces al degradar el plástico al combinar mecanismos físicos y bioquímicos. En la revisión de Sun et al. (2022), menciona, por ejemplo, a las cepas bacterianas *Enterobacter asburiae* YT1 y *Bacillus sp.* YP1 que se encontraron en el intestino de las larvas de polilla eran capaces de degradar poliestireno. Aunque, aún no queda claro el mecanismo y el papel de los microorganismos, actualmente, se encuentra mayor literatura de trabajos realizados con larvas de *T. molitor* y *Z. morio*.

2.2.3. *Tenebrio molitor*

Son escarabajos originarios de Europa, actualmente distribuidos en todo el mundo. Las larvas de estos escarabajos son conocidos como gusanos amarillos de la harina. Estos gusanos de fácil crianza son ricos en contenido proteico y son producidos como alimento para animales exóticos como reptiles, peces, batracios, pájaros, etc. (Tran et al., 2019). La clasificación taxonómica de *T. molitor* se presenta en la Tabla 2.

Estos escarabajos son conocidos como descomponedores porque pueden consumir materia orgánica como hojas, plantas, insectos y animales en la superficie terrestre, siendo beneficioso para el medio ambiente (Macalester College, 2024), sin embargo, también pueden ser plagas en los almacenes de harinas y granos (Tran et al., 2019).

Tabla 2

Clasificación taxonómica de Tenebrios molitor.

Reino	Animalia
Filo	Arthropoda
Clase	Insecta
Orden	Coleoptera
Familia	Tenebrionidae
Género	Tenebrio
Nombres comunes	Gusano amarillo de la harina, Escarabajo amarillo del gusano de la harina, Escarabajo de la harina, Gusano dorado.



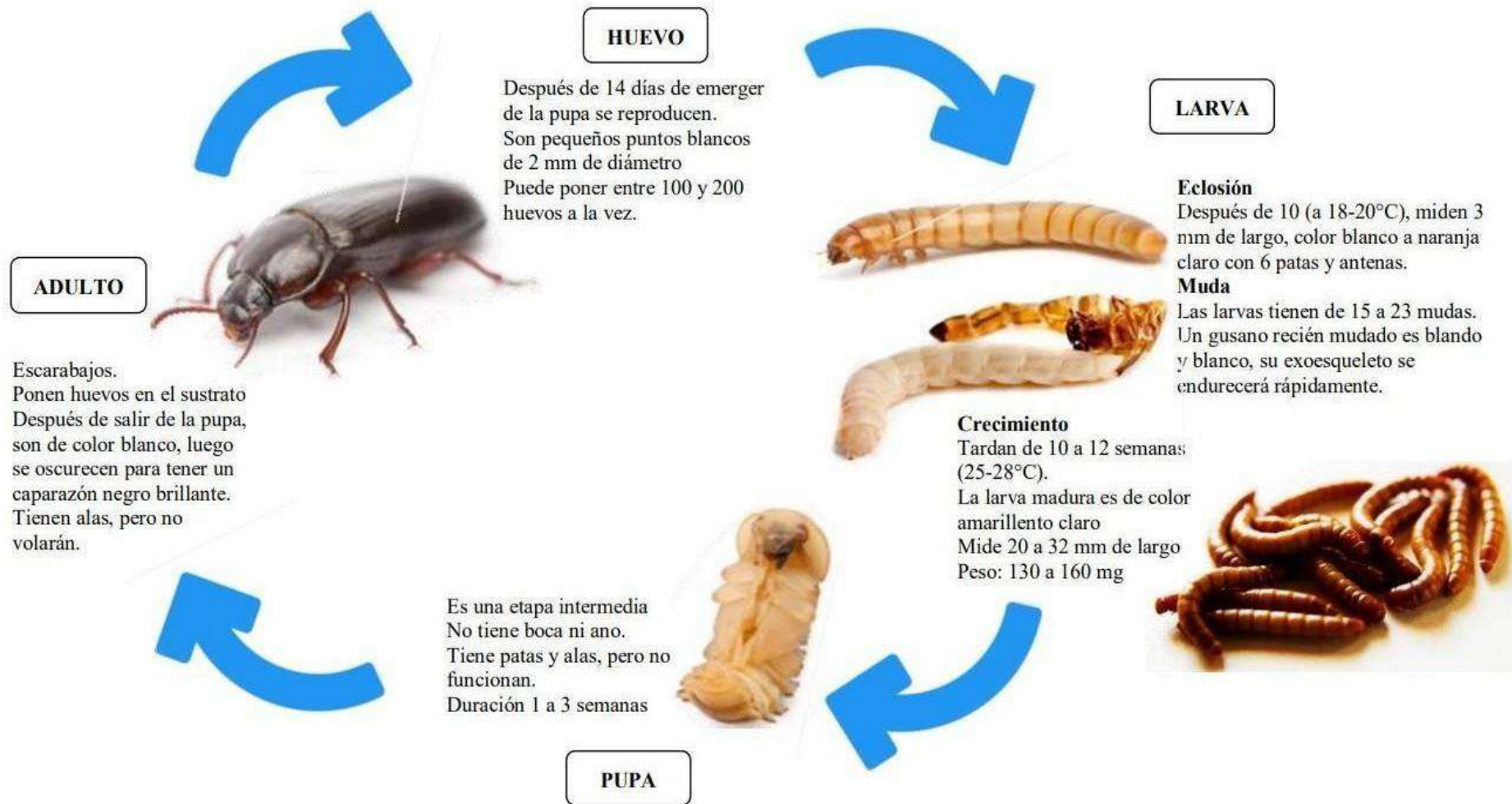
Nota. Adaptado de Macalester College (2024).

Ciclo de vida

El ciclo de vida del *T. molitor* varía de 280 a 630 días (Tran et al., 2019), tiempo en el que sufre una metamorfosis con cuatro estadios: huevo, larva, pupa y adulto (Figura 3), en etapa adulta vive entre dos a tres meses. El tiempo de desarrollo tiene una forma de campana, algunas partes se desarrollan temprano, en el medio la mayor parte y otras se desarrollan tardíamente, por ello los tiempos son variables, dependiendo de factores como temperatura, humedad, agua y alimento (Zega Enterprises, 2023)

Figura 3

Ciclo de vida de Tenebrio molitor.



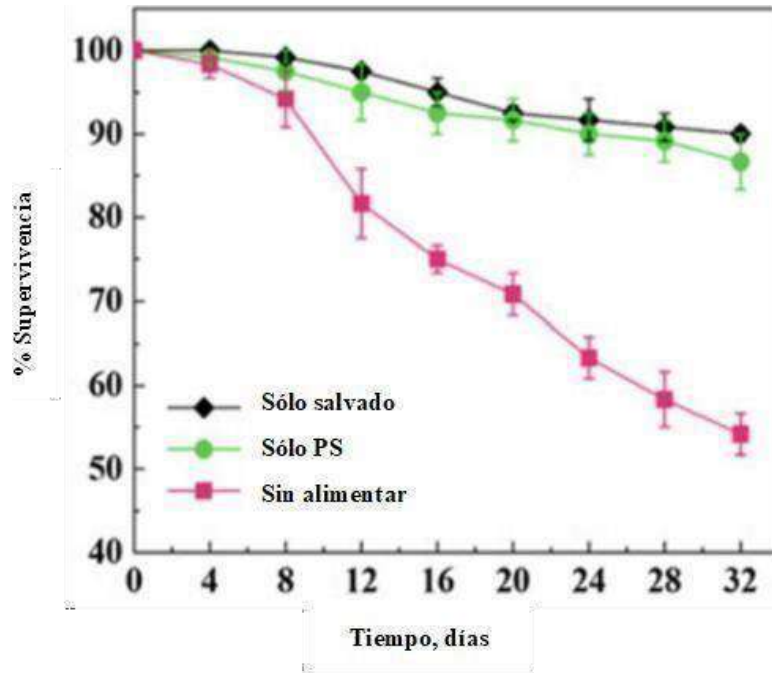
Nota. Elaborado con información y fotografías de Zega Enterprises (2023) y Mealwormcare.org (2024).

Degradación de poliestireno

Según mencionan algunos estudios, las larvas de *T. molitor*, pueden sobrevivir (Figura 4) consumiendo solo poliestireno demostrando que estos insectos pueden degradar este tipo de plástico a nivel intestinal (Yang et al., 2017; Yang & Wu, 2020; Chávez y Riofrio, 2019; Díaz Méndez et al., 2023).

Figura 4.

Tasas de supervivencia de larvas de *T. molitor* alimentadas únicamente con salvado, PES y sin alimentar.



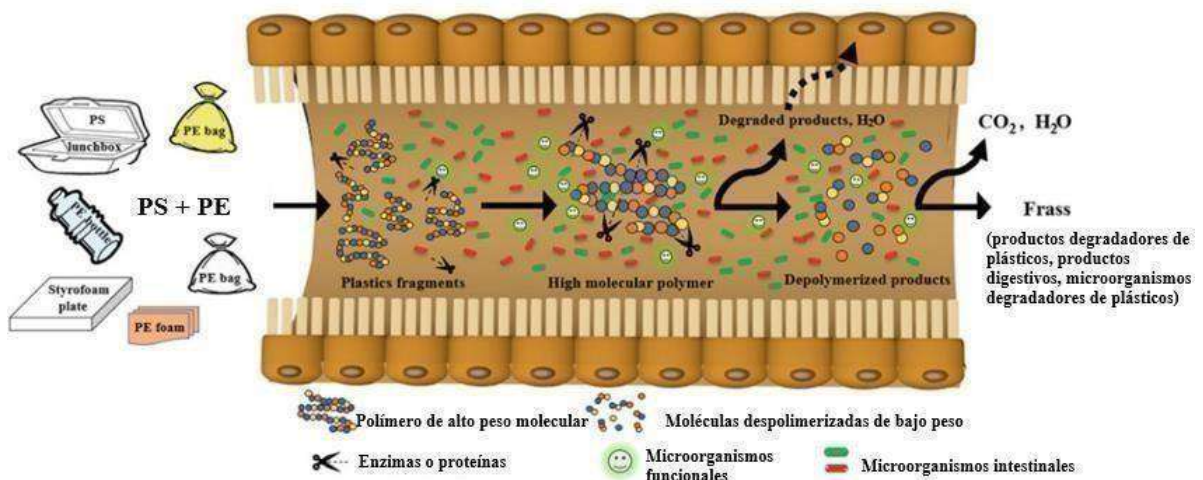
Nota. Tomado y adaptado de Yang et al. (2017).

En la revisión de Octavia (2023), se menciona la conversión de más del 48% de PS en CO₂, 49% eliminadas con heces y un pequeño porcentaje como biomasa (Figura 5), siendo importante la actividad a nivel del intestino, donde se han aislado cepas de *Firmicute exiguobacterium sp.* y que se ha demostrado su capacidad para degradar trozos de poliestireno en un periodo de 60 días con un % de degradación del 7,4%. Por

otro lado, el mismo autor en su análisis metagenómico, logró identificar como microorganismos dominantes un 8% de Proteobacteria, 57% de Firmicutes y 35% de Actinobacterias cuando las larvas fueron alimentadas con poliestireno. Otros estudios también han demostrado la capacidad que tienen estas larvas para degradar otros tipos de plástico como poliuretano, polietileno, poliestireno y poliestireno expandido. Además, según los antecedentes revisados, el consumo de PES por parte de las larvas no afecta su supervivencia y ciclo de vida, es decir, completan sus etapas, sin embargo, el peso de las larvas no logra un mayor incremento.

Figura 5.

Modelo conceptual de biodegradación de plásticos en el tracto intestinal de los insectos



Nota. Tomado y adaptado de Yang & Wu (2020).

2.2.4. *Zophobas morio*

Son escarabajos originarios de zonas tropicales de América Central y del Sur, aunque en la actualidad se ha distribuido por regiones de Europa y Asia. Las larvas de estos escarabajos son conocidos como super gusanos y son utilizados en la industria de alimentos para mascotas exóticas como reptiles, roedores, aves y artrópodos (Animalia, 2024).

Respecto a la producción a gran escala de este gusano es limitada comparada a

T. molitor, sin embargo, con los años el interés en esta especie incrementa debido a su aporte proteico, por lo que se utiliza en las dietas de peces, aves y porcinos, donde han reportado incrementos en el peso corporal, consumo de alimento y efecto positivo sobre el nivel inmunológico (Rumbos & Athanassiou, 2021). Su uso limitado a mayor escala puede deberse a que las larvas no pupan en altas densidades o hacinamiento, esto podría complicar su industrialización, ya que necesitan estar aisladas para que continúen su ciclo de vida.

La clasificación taxonómica de *Zophobas morio* se presenta en la Tabla 3.

Tabla 3

Clasificación taxonómica de Zophobas morio.

Reino	Animalia
Filo	Arthropoda
Clase	Insecta
Orden	Coleoptera
Familia	Tenebrionidae
Género	Zophobas
Especie	Morio
Nombres comunes	Super gusano, gusano rey, gusano morio, zofobas.



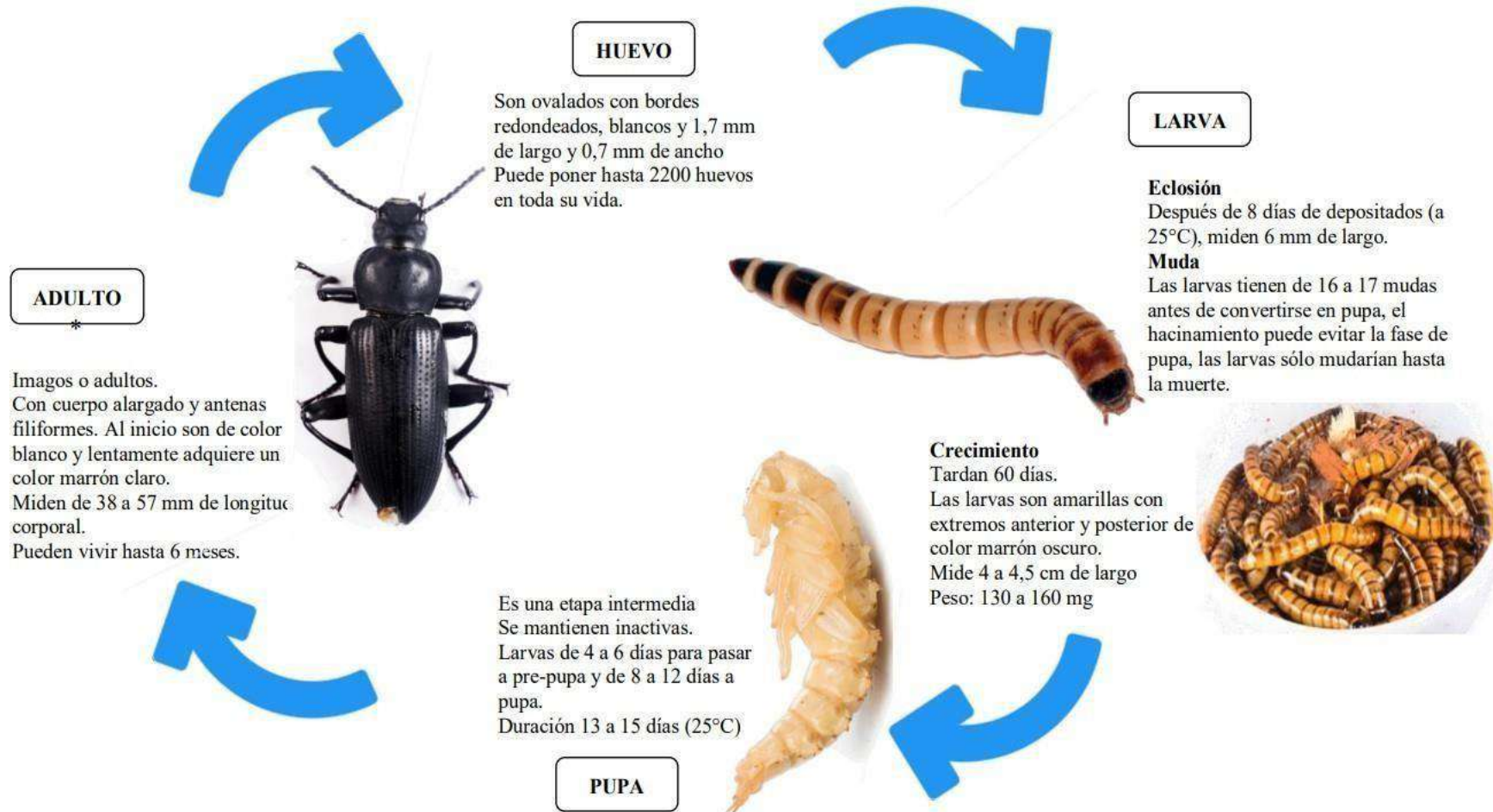
Nota. Adaptado de Animalia (2024).

Ciclo de vida

El ciclo de vida del *Z. morio* consiste en una metamorfosis con cuatro estadios: huevo, larva, pupa y adulto o imago (Úbeda y Maes, 2021; Figura 6). Las larvas son parecidas a las de *T. molitor*, pero con mayor tamaño, la duración de las etapas depende del peso y de la temperatura, siendo lo óptimo 25°C, temperaturas mayores pueden acelerar el cambio de etapa (Rumbos & Athanassiou, 2021).

Figura 6

Ciclo de vida de Tenebrio molitor.



Nota. Elaborado con información y fotografías de Rumbos & Athanassiou (2021); Úbeda y Maes (20 21).

2.2.5. Degradación de poliestireno

Según lo mencionan algunos estudios, las larvas de *Z. morio* pueden sobrevivir con una dieta única de poliestireno. Según la revisión de Octavia (2023), la literatura indica una conversión del 37% de PS en CO₂ y al igual que las larvas de *T. molitor*, se afirma que la degradación se realiza gracias al microbioma intestinal, ya que el uso de antibióticos inhibía su capacidad de degradación siendo importante la actividad a nivel del intestino, donde se han aislado cepas de *Firmicute exiguobacterium sp.* y se ha demostrado su capacidad para degradar trozos de poliestireno en un periodo de 60 días con una degradación de 7,4%. El análisis metagenómico realizado por Octavia (2023) han logrado identificar un 53% de Proteobacterias y 45% de Firmicutes como microorganismos dominantes a nivel intestinal cuando las larvas eran alimentadas con poliestireno.

En otro estudio reportado por Sun et al. (2022), cuando las larvas son alimentadas con poliestireno las heces son bolitas blancas y a nivel intestinal, se pudo apreciar una gran cantidad de partículas de poliestireno, lo que indica la capacidad de degradación de plástico.

2.2.6. . Frass: Excretas de larvas como abono orgánico

Según Collins (2024), los excrementos u otros desechos dejados por insectos y larvas de insectos se denominan Frass, cuyo origen proviene del alemán “fressen” – devorar. Las excretas de las larvas son subproductos obtenidos de la crianza de insectos, estas excretas contienen microorganismos que pueden aportar beneficios en la agricultura, a este subproducto Poveda Arias (2017) lo ha denominado “Mealfrass”.

Las larvas de *T. molitor* pueden ser una alternativa de abono natural resultado de sus excretas, cuyos análisis químicos han demostrado un adecuado contenido de N, P y K. Por otro lado, este abono tiene un mayor contenido de materia orgánica,

superando a otros abonos orgánicos como estiércol de ganado vacuno, equino, porcino, gallinaza, humus de lombriz y compost que además presentan alto contenido de humedad, lo que afecta su almacenamiento (Poveda Arias, 2018). Algunos autores han evaluado su uso en cultivos como legumbres y trigo, donde han observado un mejor porcentaje de germinación.

Asimismo, Houben et al. (2020) afirman que la adición de excremento estimula la actividad microbiana del suelo, y más aún cuando se mezcla con fertilizante mineral, esto podría indicar un efecto sinérgico entre ambas enmiendas, según los resultados obtenidos por este autor indican que las excretas de *T. molitor*, tiene un gran potencial para ser utilizado como sustituto parcial o completo del fertilizante mineral NPK.

Por otro lado, los estudios de fitotoxicidad son importantes para determinar si es seguro su aplicación en los cultivos. Respecto a esto, Poveda Arias (2015), menciona que al comparar su uso con el humus de lombriz se ha logrado un aumento en el crecimiento vegetal y desarrollo radicular cuando se utiliza en una concentración del 1 y 2,5%.

2.3 Bases filosóficas

Las bases filosóficas de esta investigación se sustentan en las ramas de la filosofía, como se detallan a continuación:

Según la rama de la Metafísica, esta investigación sigue la postura realista y acepta que los plásticos y coleópteros existen objetivamente, cuyo comportamiento se puede observar y estudiar.

Siguiendo la rama de la Epistemología, el estudio de la biodegradación del poliestireno expandido por las larvas de *T. molitor* y *Z. morio* se obtiene a través del método científico y su investigación se puede ir mejorando en el tiempo. Se seguirán los pasos del método científico, utilizando la integración de disciplinas como la biología, química, ecología e ingeniería para dar explicación a los procesos de

biodegradación de PES por las larvas, los resultados serán compartidos con la comunidad científica.

Respecto a la rama de la Axiología, cobra importancia el estudio de la mitigación por plásticos bajo una perspectiva sostenible y respetuosa con el medio ambiente, siendo este tema relevante para promover conciencia y valores sobre el cuidado ambiental.

Estas bases filosóficas permiten determinar las bases teóricas y éticas necesarias para desarrollar el problema de la contaminación por PES de manera científica y responsable.

2.4 Definiciones de términos básicos

Abono: Material o sustancia de tipo orgánico o mineral, que proporciona nutrientes a la planta y mejora la calidad del sustrato (Asociación Española de Fabricantes de Agronutrientes [AEFA], 2024).

Biodegradación: Según Plastivida (2007):

Es un tipo de degradación. Es el proceso por el cual una sustancia es degradada por organismos vivos (bio) a fragmentos más pequeños. El agente está dado por los microorganismos como las bacterias y hongos, que degradan la materia a fragmentos más pequeños, de menor peso molecular. (p. 5)

Contaminación: Es el ingreso de agentes contaminantes en un ecosistema. Dichos contaminantes pueden ser sustancias químicas, elementos extraños o naturales que causan daño e inestabilidad en el entorno o en los seres vivos (Fundación Aquae, 2021)

PES: Es el resultado de un proceso en el cual, el PES (poliestireno) es sometido a agua y a un agente expansor (pentano), para obtener un producto cuyo volumen es principalmente aire, es conocido comúnmente como “Tecnopor” en nuestro país.

Plástico: Material constituido por varios monómeros derivados del petróleo,

caracterizado por su capacidad de ser moldeado por acción del calor.

Larva: Etapa de desarrollo de un insecto que continua después de la eclosión del huevo, esta etapa es variable según condiciones de temperatura y densidad. En esta etapa es capaz de nutrirse por sí mismo, pero aún no ha adquirido la forma y la organización propia de los adultos de su especie (Real Academia Española, 2024).

Residuos: Materiales que quedan inservibles y se descartan después de haber sido utilizados o haber cumplido su función (Caurin, 2018).

***Tenebrio molitor*:** Coléoptero, cuya larva es conocida como gusano amarillo de la harina, originario de la zona de Europa y que actualmente se encuentra distribuido a nivel mundial.

***Zophobas morio*:** Coléoptero, cuya larva es conocida como super gusano, originarios de zonas tropicales de América Central y del Sur, y distribuido por Europa y Asia.

2.5 Hipótesis de investigación

2.5.1. Hipótesis general

No existe diferencias significativas en la biodegradación de poliestireno expandido por larvas de *Tenebrios molitor* y *Zophobas morio*, para mitigar la contaminación por plásticos.

2.5.1 Hipótesis específicas

H1: El consumo de poliestireno expandido (PES) por parte de las larvas de *Tenebrio molitor* y *Zophobas morio* varía de forma significativa según la especie y el tratamiento dietario al que sean sometidas.

H2: La tasa de biodegradación del poliestireno expandido (PES) por parte de las larvas de *Tenebrio molitor* y *Zophobas morio* está influenciada significativamente por el tipo de dieta alimenticia suministrada

H3: La dieta suplementada con poliestireno expandido (PES) influye en la

biomasa (peso) de las larvas de *Tenebrio molitor* y *Zophobas morio*

H4: La dieta suplementada con poliestireno expandido (PES) influye en el crecimiento (longitud) de las larvas de *Tenebrio molitor* y *Zophobas morio*

H5: La dieta suplementada con poliestireno expandido (PES) influye en el contenido de nitrógeno de las excretas de las larvas de *Tenebrio molitor* y *Zophobas morio*

H6: El uso de excretas de *Tenebrio molitor* y *Zophobas morio* criadas con dietas de PES 100% (T1) y avena 50% + PES 50% (T2), como sustrato, influye significativamente en el porcentaje de germinación, el crecimiento radicular y el tamaño y mortalidad de las plántulas de lechuga (*Lactuca sativa*)

2.6 Operacionalización de las variables

Tabla 4

Biodegradación de poliestireno expandido entre larvas de Tenebrios molitor y Zophobas morio para mitigar la contaminación por plásticos.

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores
Independiente: X1. Dietas para <i>T. molitor</i> y <i>Z. morio</i>	Conjunto de sustancias que se ingiere como alimento (Real Academia Española, 2024)	Gramos de alimento y de EPS suministrados por larva, al inicio del tratamiento.	X1. Sólo avena X2. Sólo PES X3. Avena + PES	g/larva
Dependiente: Y1. Biodegradabilidad de EPS	Proceso por el cual los microorganismos mediante enzimas utilizan como sustrato al plástico para su desarrollo (Ho et al., 2017).	Capacidad de utilizar cada una de las dietas suministradas.	Y1.1. Consumo de PES Y1.2. Tasa de biodegradación Y1.3. Incremento en biomasa Y1.4. Crecimiento de larva	g/larva % mm
Dependiente: Y2. Potencial como abono orgánico	Sustancia utilizada para fertilizar el suelo por su aporte de materia orgánica, N en forma orgánica, más o menos estable que poco a poco pasa a disposición de las plantas. (Ramos y Terry, 2014)	Capacidad de producir excretas que puedan ser utilizadas como abono, sin causar toxicidad.	Y2.1. Contenido de Nitrógeno Y2.2. Germinación relativa Y3.3. Crecimiento radicular relativo Y4.4. Índice de germinación	% cm

CAPITULO III. METODOLOGIA

3.1. Diseño metodológico

El diseño de esta investigación fue de tipo experimental, en la cual a partir de una acción determinada se observan las consecuencias, ya que las variables de tipo independiente (dietas para larvas de *T. molitor* y *Z. morio*) son manipuladas libremente para su posterior análisis o efecto sobre las variables dependientes (biodegradación de EPS y producción de abono orgánico), por ello se plantean tratamientos (Hernández-Sampieri y Mendoza Torres, 2018).

3.2. Biodegradación de PES

Para el desarrollo de esta investigación se realizó tres tratamientos, según el tipo de dieta experimental designada:

T1: Dieta sólo a base de harina de avena.

T2: Dieta sólo a base de PES para proteger electrodomésticos. El PES fue ofrecido en trozos de 6 cm de largo, 5 cm de ancho y 3 cm de espesor.

T3: Dieta con 50% de harina de avena y 50% de PES.

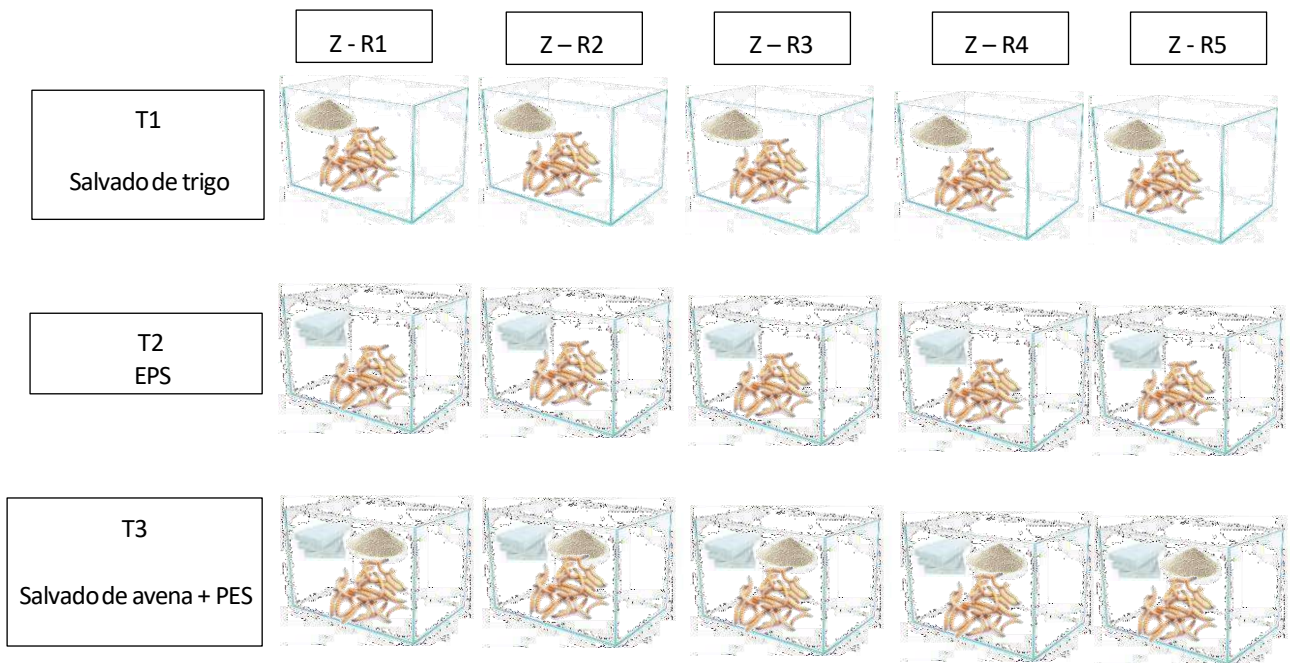
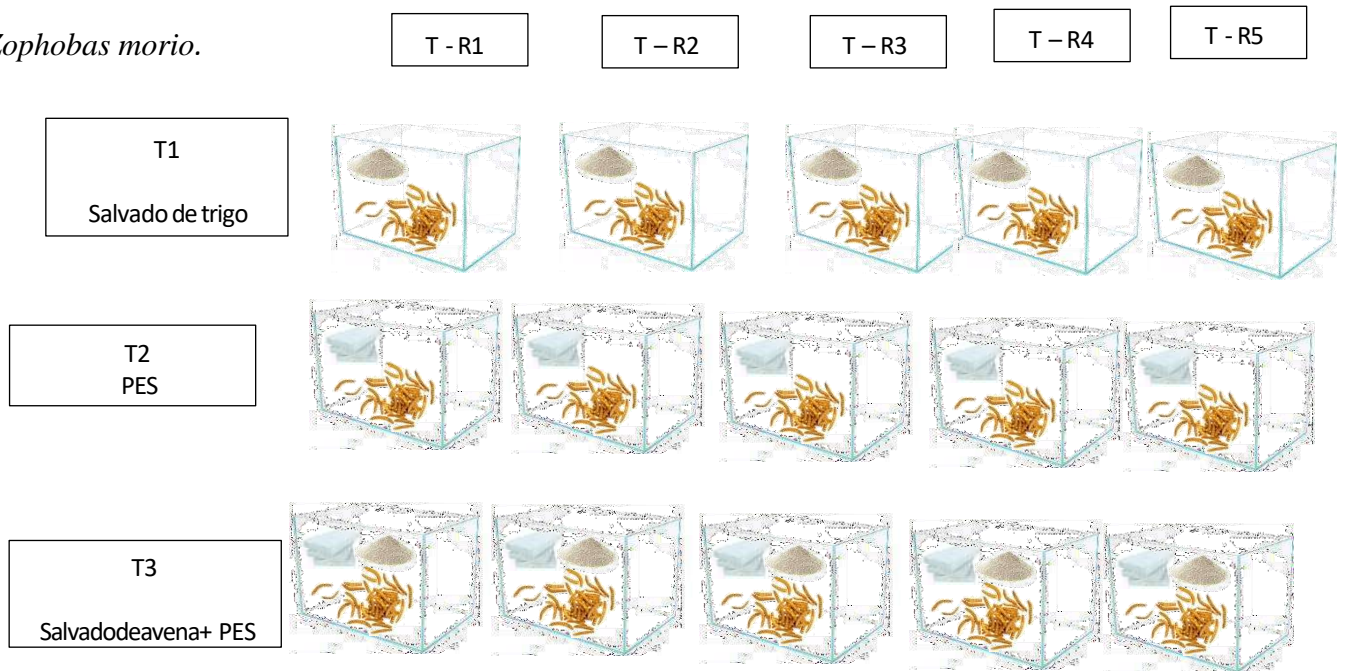
Las larvas fueron criadas en recipientes de vidrio de 30 cm de largo, 20 cm de ancho y 20 cm de alto. Por cada tratamiento se designaron 5 repeticiones (recipientes), cada una de estas con 30 larvas.

La figura 7 muestra la distribución de las repeticiones y tratamientos:

Figura 7

Distribución de tratamientos y repeticiones por tratamiento para Tenebrios molitor y

Zophobas morio.



Nota. En cada recipiente se depositarán 30 larvas.

El diseño de la investigación es un Diseño Completamente al Azar (DCA). Para las variables Consumo de PES, tasa de biodegradabilidad, incremento en biomasa y Crecimiento de larva el modelo matemático lineal es:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + E_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = Observación del i-ésimo tipo de larva en la repetición j-ésima

μ = Media general

T_i = Efecto del i-ésimo tipo de larva.

E_{ij} = Error aleatorio

3.3. Potencial como abono orgánico

Para evaluar el potencial de las excretas de larvas como abono orgánico y su fitotoxicidad, se realizó un análisis químico para determinar el contenido de Nitrógeno en el Laboratorio de Evaluación Nutricional de Alimentos de la UNALM, para ello se recolectó 100 g de excretas de cada tipo de larva. Posterior a ello, se realizó un bioensayo de germinación de semillas de lechuga (*Lactuca sativa*). Se siguió el procedimiento realizado por Urriola et al. (2021), para lo cual se consideró los siguientes tratamientos:

T0: Control sólo agua destilada

T1: Extracto de abono de excretas de *Tenebrios molitor* + agua destilada T2:

Extracto de abono de excretas de *Zophobas morio* + agua destilada T3:

Extracto de abono de humus de lombriz + agua destilada

Se pesó 10 g de excretas de *T. molitor* y *Z. morio*, luego se disolvió en 100 ml de agua destilada y se mezclarán para obtener un extracto de abono. En placas Petri cubiertas con tres capas de papel filtro se colocó 10 semillas de lechuga. Posteriormente, se agregó 4 ml de extracto y se identificó la placa con la hora y fecha. Se evaluó el Porcentaje de

germinación relativa, Crecimiento radicular relativo e Índice de germinación considerando el siguiente modelo matemático de un DCA:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + E_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = Observación del i-ésimo tratamiento en la repetición j-ésima

μ = Media general

T_i = Efecto del i-ésimo tratamiento.

E_{ij} = Error aleatorio

Cada tratamiento tuvo 5 repeticiones, los cuales serán distribuidos aleatoriamente.

3.4. Población y muestra

3.4.1. Población

Larvas de Coleópteros *T. molitor* y *Z. morio*.

3.4.2. Muestra

Se utilizó 450 larvas de *T. molitor* y 450 larvas de *Z. morio*, las cuales fueron asignadas aleatoriamente a uno de los tratamientos.

3.5. Técnicas de recolección de datos

La toma de datos se realizó semanalmente, en un periodo de dos meses. Los datos por recolectar correspondieron a las siguientes variables:

- **Consumo de PES:** Cantidad de poliestireno expandido consumido por larva en promedio. Se obtiene mediante la fórmula:

$$PES \text{ suministrado } (g) - PES \text{ restante } (g)$$

- **Tasa de biodegradación:** porcentaje equivalente al consumo de PES. Se obtiene mediante la fórmula:

$$\frac{PES_{suministrado} (g) - PES_{restante} (g) \times 100}{PES_{suministrado} (g)}$$

- **Incremento en biomasa:** promedio de gramos de incremento en peso por semana por larva. Se obtiene mediante la fórmula:

$$Peso\ inicial\ (g) - Peso\ final\ (g)$$

- **Crecimiento de larva:** promedio de mm en incremento en longitud por semana por larva. Se obtiene mediante la fórmula:

$$Longitud\ inicial\ (mm) - Longitud\ final\ (g)$$

Para evaluar el potencial como abono orgánico y fitotoxicidad, se tomó las siguientes medidas:

- **Contenido de Nitrógeno:** Se obtuvo en el Laboratorio de Laboratorio de Evaluación Nutricional de Alimentos – LENA de la Universidad Nacional Agraria La Molina.
- **Porcentaje de germinación relativo:** proporción de semillas germinadas según el extracto utilizado y las semillas germinadas en el control, expresado como porcentaje:

$$\frac{N^{\circ}\ de\ semillas\ germinadas\ según\ extracto\ \times 100}{N^{\circ}\ de\ semillas\ germinadas\ en\ el\ grupo\ control}$$

- **Crecimiento radicular relativo:** Se expresa como la proporción de los cm de elongación de la raíz de semillas germinadas en el extracto y los cm de elongación semillas germinadas en el grupo control.

$$\frac{Longitud\ radicular\ según\ extracto\ (cm)\ \times 100}{Longitud\ radicular\ en\ el\ grupo\ control\ (cm)}$$

3.6. Técnicas para el procedimiento de la información

Los datos fueron registrados en hojas de Microsoft Excel. Luego fueron tabulados y procesados mediante el Software IBM SPSS. Las variables se analizaron mediante estadística descriptiva. La prueba de t-student pareada se usó para analizar el consumo de

alimento, peso y longitud de las larvas y, ANOVA de un solo factor para analizar la germinación, crecimiento de raíz y de plántulas. Las comparaciones de medias se realizó mediante la prueba post hoc de Tukey con un nivel de significancia del 95%.

3.7. Matriz de consistencia

A continuación, se presenta la matriz de consistencia.

Tabla 5

Matriz de consistencia.

Comparación de biodegradación de poliestireno expandido entre larvas de <i>Tenebrios molitor</i> y <i>Zophobas morio</i> para mitigar la contaminación por plásticos					
Problema general	Objetivo general	Hipótesis general	Variables	Indicadores	Metodología
¿Cuál sería la diferencia en la biodegradación de poliestireno expandido (EPS) por larvas de <i>Tenebrio molitor</i> y <i>Zophobas morio</i> ?	Comparar la biodegradación de poliestireno expandido por larvas de <i>Tenebrios molitor</i> y <i>Zophobas morio</i> para mitigar la contaminación por plásticos.	Existen diferencias significativas en la biodegradación de poliestireno expandido por larvas de <i>Tenebrios molitor</i> y <i>Zophobas morio</i> para mitigar la contaminación por plásticos.	Variable independiente Dietas para <i>T. molitor</i> y <i>Z. morio</i>	X. Tipo de lactancia X1. Sólo avena X2. Sólo EPS X3. Avena+EPS.	Diseño: Experimental
Problemas específicos	Objetivos específicos	Hipótesis específicas	Variable dependiente	Y. Rendimiento productivo	Técnicas de recolección de datos:
¿Cuánto sería el consumo de poliestireno expandido por larvas de <i>Tenebrios molitor</i> y <i>Zophobas morio</i> ?	Comparar el consumo de poliestireno expandido por larvas de <i>Tenebrios molitor</i> y <i>Zophobas morio</i> .	Existen diferencias significativas en el consumo de poliestireno expandido por larvas de <i>Tenebrios molitor</i> y <i>Zophobas morio</i> .	Y1. Biodegradabilidad de EPS	Y1.1. Consumo de EPS Y1.2. Tasa de biodegradación Y1.3. Incremento en biomasa Y1.4. Crecimiento	Los datos se recolectaron semanalmente por un periodo de 60 días Los datos necesarios para el cálculo de las variables fueron registrados en hojas de cálculo de Microsoft Excel. Posterior a ello, se enviaron muestras de excretas para determinación de Nitrógeno y se realizó un bioensayo para determinar su potencial como abono orgánico evaluando la germinación de semillas de lechuga.
¿Cuál sería la tasa de biodegradación de EPS por larvas de <i>Tenebrios molitor</i> y <i>Zophobas morio</i> ?	Comparar la tasa de utilización del EPS por larvas de <i>Tenebrios molitor</i> y <i>Zophobas morio</i> .	Existen diferencias significativas en la tasa de biodegradación del EPS por larvas de <i>Tenebrio molitor</i> y <i>Zophobas morio</i> .	Y2. Potencial como abono orgánico	Y2.1. Contenido de Nitrógeno Y2.2. Germinación relativa Y3.3. Crecimiento radicular relativo Y4.4. Índice de germinación	
¿Cuánto sería el incremento de biomasa de larvas de <i>Tenebrios molitor</i> y <i>Zophobas morio</i> alimentadas con EPS?	Comparar el incremento de biomasa de larvas de <i>Tenebrios molitor</i> y <i>Zophobas morio</i> alimentadas con EPS.	Existen diferencias significativas en el incremento de biomasa de larvas de <i>Tenebrios molitor</i> y <i>Zophobas morio</i> alimentadas con EPS.			
¿Cómo sería el crecimiento en longitud de larvas de <i>Tenebrios molitor</i> y <i>Zophobas morio</i> alimentadas con EPS?	Comparar el crecimiento en longitud de larvas de <i>Tenebrios molitor</i> y <i>Zophobas morio</i> alimentadas con EPS.	Existen diferencias significativas en el crecimiento en longitud de larvas de <i>Tenebrios molitor</i> y <i>Zophobas morio</i> alimentadas con EPS.			
¿Cuál sería el contenido de nitrógeno de las heces producidas por larvas de <i>Tenebrios molitor</i> y <i>Zophobas morio</i> alimentadas con avena + EPS?	Determinar el contenido de nitrógeno de las heces producidas por larvas de <i>Tenebrios molitor</i> y <i>Zophobas morio</i> alimentadas con avena + EPS.	Existen diferencias significativas en el contenido de nitrógeno de las heces producidas por larvas de <i>Tenebrios molitor</i> y <i>Zophobas morio</i> alimentadas con avena + EPS.			
¿Cuál sería el efecto de utilizar las excretas producidas por larvas de <i>Tenebrios molitor</i> y <i>Zophobas morio</i> alimentadas con avena + EPS como abono orgánico en el porcentaje de germinación relativo, crecimiento radicular relativo y el índice de germinación de semillas de lechuga <i>Lactuca sativa</i> ?	Comparar el efecto de utilizar las excretas producidas por larvas de <i>Tenebrios molitor</i> y <i>Zophobas morio</i> alimentadas con avena + EPS como abono orgánico en el porcentaje de germinación relativo, crecimiento radicular relativo y el índice de germinación de semillas de lechuga <i>Lactuca sativa</i> .	Existen diferencias significativas en el porcentaje de germinación relativo, crecimiento radicular relativo y el índice de germinación de semillas de lechuga <i>Lactuca sativa</i> al utilizar las excretas de <i>Tenebrios molitor</i> y <i>Zophobas morio</i> alimentadas con avena + EPS como abono orgánico.			Procesamiento de datos: - El análisis estadístico se realizó con el software IBM SPSS Statistics 22. - Se utilizó un ANOVA para evaluar las variables de respuesta. - La prueba post hoc de Tukey para realizar las comparaciones de medias.

CAPITULO IV. RESULTADOS

4.1. Hipótesis específica I

El consumo de poliestireno expandido (PES) por parte de las larvas de *T. molitor* y *Z. morio* varía de forma significativa según la especie y el tratamiento dietario al que se sometieron

El consumo de PES por larvas de *T. molitor* (Tabla 6) se incrementó cada semana. Al realizar la prueba estadística t-Student pareada se determinaron diferencias significativas, durante las semanas 1, 2 y 3: Los valores p (0.006, 0.009, 0.007) son menores que 0.05. Esto nos permitió rechazar la hipótesis nula (Ho) y aceptar la Ha, por tanto, existe una diferencia estadísticamente significativa en el consumo de PES entre los dos tratamientos durante estas semanas. El tratamiento T2 (dieta mixta) mostró un consumo significativamente mayor que el tratamiento T1 (dieta 100% EPS). Tabla 6).

Tabla 6
Consumo semanal por larvas de Tenebrius molitor (g) del tratamiento T1 (100% PES) y T2 (50% PES+50% harina de avena)

Semana	T1: Media ± DE)	T2: Media ± DE	T1-T2	T	P
1	0.377 ± 0.03	0.463 ± 0.01	0.086	6.966	0.006
2	0.500 ± 0.05	0.627 ± 0.02	0.127	6.113	0.009
3	0,663 ± 0.06	0,893 ± 0.07	0.23	6.716	0.007
4	0,907 ± 0.04	0,973 ± 0.07	0.066	2.125	0.125

Sin embargo, en la semana 4: El valor p (0.125) es mayor que 0.05, lo que permite aceptar la Ho y rechazar la Ha. Por tanto, no se encontró una diferencia estadísticamente significativa en el consumo de PES entre los dos tratamientos en la cuarta semana. Aunque la media de consumo de T2 fue más alta (0.973 vs 0.907), la variabilidad en los

datos (DE ± 0.07 en ambos grupos) fue lo suficientemente alta como para que esta diferencia no sea considerada estadísticamente significativa con el tamaño de muestra utilizado (Tabla 6).

Con relación al consumo PES suministrado en los tratamientos T1 y T2 por larvas de *Z. morio*, se observó una diferencia a favor del tratamiento T2, que es consistente en todas las semanas del experimento. La magnitud de la diferencia fue incrementándose hacia el final del estudio (llegando a +0.10g en la semana 4), lo que sugiere que el efecto beneficioso de la suplementación con avena podría potenciarse con el tiempo (Tabla 7).

Existe una diferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos. Las larvas de *Z. morio* consumieron más la dieta del tratamiento T2 (PES 50% +harina avena 50%) que la dieta del T1 (PES 100%) ($t=5,36$; $p=0,00023$) (Tabla 7). Esta diferencia es consistente en las cuatro semanas de evaluación.

Tabla 7
Consumo semanal (g) por larvas de *Zoophobus morio* del tratamiento T1 (100% PES) y T2 (50% PES+50% harina de avena)

Semana	T1 (media \pm DE)	T2 (media \pm DE)	T1-T2	T	P
1	0.58 \pm 0.03	0.60 \pm 0.01			
2	0.77 \pm 0.02	0.83 \pm 0.03			
3	1.18 \pm 0.02	1.22 \pm 0.02	0,055	5,36	0,00023
4	1.30 \pm 0.04	1.40 \pm 0.02			

4.2. Hipótesis específica II

La tasa de biodegradación del poliestireno expandido (PES) por parte de las larvas de *T. molitor* y *Z. morio* está influenciada significativamente por el tipo de dieta alimenticia suministrada.

La tasa de degradación, por parte de las larvas de *T. molitor*, mostró un incremento progresivo y constante a lo largo de las cuatro semanas en ambos tratamientos (T1 y T2). En el tratamiento T1 (100% PES), la tasa semanal aumentó desde un 5,38% en la primera semana hasta un 13,00% en la cuarta semana, mientras que en el

tratamiento T2. La tasa de degradación fue mayor, pasó de 6,92% en la primera semana a 13,86% en la cuarta semana. (Tabla 8)

Al realizar la prueba estadística de t. student pareada, se encontró un valor $p = 0,00079$, muy inferior al nivel de significancia de 0.05. Esto nos permite rechazar la hipótesis nula (H_0). Lo que nos lleva a concluir que la dieta mixta (T2: 50% PES + 50% harina de avena) resultó en una tasa de degradación significativamente mayor que la dieta T1 (100% PES). La diferencia a favor del tratamiento T2 fue consistente en todas las semanas del experimento. La magnitud de la diferencia fue más pronunciada en la semana 3 (+3.28%),

El tratamiento con PES 50% + avena (T2) mostró una tasa de degradación significativamente mayor que el tratamiento con PES 100% (T1) en un período de 30 días ($t=-3.22$, $p=0.048$).

La tasa de degradación del PES, por parte de las larvas de *Z. morio*, mostró un incremento progresivo y constante a lo largo de las cuatro semanas en ambos tratamientos (T1 y T2). En el tratamiento T1 (100% EPS), la tasa semanal aumentó desde un 8.29% en la primera semana hasta un 18,57% en la cuarta. En el tratamiento T2 el incremento de la tasa semanal fue ligeramente mayor, pasó de 8,57% en la primera semana a 20% (Tabla 9).

Tabla 8

Tasa de degradación de PES (7g por/tratamiento/ única vez) por larvas de Tenebrios molitor

Semana	Tratamiento	Consumo (g)	Consumo Acumulativo (g)	Tasa semanal (%)	Tasa diaria (%/día)
1	T1	0,38	0,38	5,43	0,78
2	T1	0,50	0,88	7,14	1,02
3	T1	0,66	1,54	9,43	1,35
4	T1	0,91	2,45	13,00	1,86
1	T2	0,46	0,46	6,57	0,94
2	T2	0,63	1,09	9,00	1,29
3	T2	0,89	1,98	12,71	1,82
4	T2	0,97	2,95	13,86	1,98

Tabla 9

Tasa de degradación diaria de PES para Zophobas mouro (% por día)₁

Semana	Tratamiento ²	Consumo (g)	Consumo acumulado (g)	Tasa degradación semanal (%)	Tasa degradación diaria (%/día)
1	T1: PES 100%	0.58	0,58	8.29	1.18
2	T1: PES 100%	0.77	1,35	10.95	1.56
3	T1: PES 100%	1.18	2,53	16.86	2.41
4	T1: PES 100%	1.3	3,83	18.57	2.65
1	T2: PES 50% + 50% avena	0.6	0,60	8.57	1.22
2	T2: PES 50% + 50% avena	0.83	1,43	11.81	1.69
3	T2: PES 50% + 50% avena	1.22	2,65	17.38	2.48
4	T2: PES 50% + 50% avena	1.4	4,05	20,00	2.86

¹El suministro de PES fue de 7 g por tratamiento durante la primera semana y por única vez

²El número de larvas por cada tratamiento fue de 30

Mediante la prueba de t-Student pareada se determinó que existen diferencias estadísticamente significativas ($p= 0,0032$) entre los tratamientos T1 y T2. La diferencia a favor del tratamiento T2 fue consistente en todas las semanas del experimento. La magnitud de la diferencia en la tasa de degradación semanal fue más pronunciada en la semana 4 (+1.43%) (Tabla 9).

4.3. Hipótesis específica III

La dieta suplementada con poliestireno expandido (PES) influye en la biomasa (peso) de las larvas de *Tenebrio molitor* y *Zophobas morio*

Para determinar diferencias entre tratamientos se usó la prueba estadística de ANOVA y la prueba de Tuckey. El aumento de peso en las larvas de *T. molitor* durante las primeras dos semanas no mostró diferencias significativas entre los tratamientos ($p > 0,01$). A partir de la tercera semana, se observó que los ejemplares alimentados exclusivamente con harina de avena (T0) y aquellos con una dieta mixta de harina de avena al 50% + PES al 50% (T2) presentaron un mayor peso corporal ($p < 0,01$) en comparación con las larvas que recibieron únicamente PES (T1). Al concluir la octava semana, las larvas del tratamiento T1 mostraron una reducción ponderal significativa ($p < 0,01$) del 21,1% respecto al grupo control (T0), como se especifica en la Tabla 10.

Tabla 10

Influencia de concentraciones variables de poliestireno (EPS) en el peso corporal (g) de larvas de Tenebrio molitor durante un ciclo de ocho semanas

Semana	Tratamientos	Pesos (g)	P
1	T0: Harina avena 100%	0,131 ± 0,009	0,218
	T1: PES 100%	0,127 ± 0,005	
	T2: Harina avena 50% + PES 50%	0,130 ± 0,008	
2	T0: Harina avena	0,194 ± 0,010	0,274
	T1: PES 100%	0,186 ± 0,006	
	T2: Harina avena + PES 50%	0,193 ± 0,006	
3	T0: Harina avena 100%	0,254 ^a ± 0,011	<0,001
	T1: PES 100%	0,216 ^b ± 0,010	
	T2: Harina avena 50% + PES 50%	0,264 ^a ± 0,012	
4	T0: Harina avena 100%	0,317 ^a ± 0,010	<0,001
	T1: PES 100%	0,269 ^b ± 0,005	
	T2: Harina avena 50% + PES 50%	0,327 ^a ± 0,003	
5	T0: Harina avena 100%	0,375 ^b ± 0,011	<0,001
	T1: PES 100%	0,305 ^c ± 0,003	
	T2: Harina avena 50% + PES 50%	0,394 ^a ± 0,005	
6	T0: Harina avena 100%	0,429 ^b ± 0,010	<0,001
	T1: PES 100%	0,355 ^c ± 0,012	
	T2: Harina avena 50% + PES 50%	0,455 ^a ± 0,013	
7	T0: Harina avena 100%	0,495 ^b ± 0,009	<0,001
	T1: PES 100%	0,393 ^c ± 0,007	
	T2: Harina avena 50% + PES 50%	0,519 ^a ± 0,013	
8	T0: Harina avena 100%	0,551 ^a ± 0,007	0,003
	T1: PES 100%	0,435 ^b ± 0,008	
	T2: Harina avena 50% + PES 50%	0,549 ^a ± 0,079	

Con relación al peso de las larvas de *Z. mouro*, al finalizar la primera semana el tipo de alimento suministrado no influyó sobre el peso de las larvas. En la segunda semana, se observaron diferencias significativas, las larvas alimentadas con PES 100% tuvieron los menores pesos en comparación a los otros dos tratamientos. De la tercera a sexta semana el tipo de alimento no influyó sobre el peso de las larvas ($p > 0,01$). Sin embargo, en la séptima y octava semana se encontraron diferencias significativas ($p < 0,01$). Las larvas alimentadas con PES 100% y con PES 50% + 50% avena tuvieron un mayor peso vivo que las larvas del grupo control (100% harina avena). (Tabla 11)

Tabla 11

Peso (g) de larvas de Zophobas morio alimentados con poliestireno Expandido (PES)

Semana	Tratamientos	Pesos (g)	P
1	T0	0,414 ± 0,087	0,732
	T1	0,399 ± 0,060	
	T2	0,439 ± 0,082	
2	T0	0,519 ± 0,052	0,088
	T1	0,459 ± 0,041	
	T2	0,519 ± 0,039	
3	T0	0,524 ± 0,052	0,846
	T1	0,513 ± 0,042	
	T2	0,529 ± 0,039	
4	T0	0,541 ± 0,048	0,649
	T1	0,544 ± 0,051	
	T2	0,567 ± 0,040	
5	T0	0,597 ± 0,018	0,877
	T1	0,603 ± 0,019	
	T2	0,600 ± 0,019	
6	T0	0,630 ± 0,056	0,225
	T1	0,633 ± 0,065	
	T2	0,694 ± 0,065	
7	T0	0,736 ± 0,034	0,085
	T1	0,762 ± 0,039	
	T2	0,803 ± 0,053	
8	T0	0,765 ± 0,046	0,006
	T1	0,782 ± 0,062	
	T2	0,881 ± 0,032	

4.5. Hipótesis específica IV

La dieta suplementada con poliestireno expandido (PES) influye en el crecimiento (longitud) de las larvas de *T. molitor* y *Z. morio*

Mediante ANOVA y prueba de Tuckey se determinó si los tratamientos en estudio influyen sobre el crecimiento en longitud de larvas de *T. molitor*. No se registraron diferencias significativas ($p > 0,01$) en el crecimiento longitudinal durante la primera semana. A partir de la segunda a sexta semana la diferencia en el crecimiento de las larvas fue significativa ($p < 0,01$), la dieta alimenticia influyó en el crecimiento longitudinal, las larvas alimentadas exclusivamente con PES registran longitudes consistentemente menores, con diferencias de hasta 21.1% en la semana 6

(T1 = 1.948 cm vs. T0 = 2.190 cm). En las semanas 7–8: se observa alta variabilidad en los datos (desviaciones estándar elevadas) lo que dificultó detectar diferencias claras entre los tratamientos ($p>0,01$). (Tabla 12)

Tabla 12
Longitud (cm) de larvas de *T. molitor* alimentados con diferentes niveles de poliesterno (PES)

Semana	Tratamientos	Longitud (cm)	P
1	T0: Harina avena	1,162 ± 0,051	0,116
	T1: PES 100%	1,258 ± 0,087	
	T2: Harina avena + PES 50%	1,210 ± 0,054	
2	T0: Harina avena	1,418 ^{ab} ± 0,027	0,018
	T1: PES 100%	1,368 ^b ± 0,041	
	T2: Harina avena + PES 50%	1,454 ^a ± 0,049	
3	T0: Harina avena	1,644 ^a ± 0,076	0,023
	T1: PES 100%	1,540 ^b ± 0,053	
	T2: Harina avena + PES 50%	1,632 ^a ± 0,025	
4	T0: Harina avena	1,786 ^b ± 0,064	<0,001
	T1: PES 100%	1,662 ^c ± 0,034	
	T2: Harina avena + PES 50%	1,876 ^a ± 0,026	
5	T0: Harina avena	2,022 ^a ± 0,035	<0,001
	T1: PES 100%	1,810 ^b ± 0,038	
	T2: Harina avena + PES 50%	2,082 ^a ± 0,04	
6	T0: Harina avena	2,190 ^a ± 0,057	<0,001
	T1: PES 100%	1,948 ^b ± 0,088	
	T2: Harina avena + PES 50%	2,258 ^a ± 0,061	
7	T0: Harina avena	2,810 ± 0,543	0,930
	T1: PES 100%	2,914 ± 0,423	
	T2: Harina avena + PES 50%	2,922 ± 0,560	
8	T0: Harina avena	3,414 ± 0,431	0,218
	T1: PES 100%	2,826 ± 0,558	
	T2: Harina avena + PES 50%	3,302 ± 0,586	

Con relación al crecimiento de las larvas de *Z. mouro*, de la primera a quinta semana no se registraron diferencias significativas ($p>0,01$) en relación a los tratamientos suministrados. En la sexta semana, las larvas alimentadas con 50% de PES + 50% de harina de avena tuvieron un mayor crecimiento significativo ($<0,01$). Sin embargo, en la séptima y octava semana el crecimiento de estas larvas fue similares y no significativos en los tres tratamientos ($p>0,01$). (Tabla 13)

Tabla 13

Longitud (cm) de larvas de Zophobas alimentados con poliesterno expandido (PES)

Semana	Tratamientos	Longitud (cm)	P
1	T0	2,140 ± 0,194	0,010
	T1	3,020 ± 0,363	
	T2	2,820 ± 0,535	
2	T0	2,940 ± 0,450	0,626
	T1	3,160 ± 0,456	
	T2	3,220 ± 0,506	
3	T0	3,720 ± 0,432	0,275
	T1	3,480 ± 0,376	
	T2	3,160 ± 0,702	
4	T0	3,520 ± 0,460	0,910
	T1	3,340 ± 0,550	
	T2	3,380 ± 0,947	
5	T0	3,800 ± 0,724	0,524
	T1	4,200 ± 0,595	
	T2	4,180 ± 0,486	
6	T0	4,360 ± 0,364	0,037
	T1	4,360 ± 0,563	
	T2	5,200 ± 0,595	
7	T0	4,260 ± 0,691	0,181
	T1	5,000 ± 0,886	
	T2	5,040 ± 0,450	
8	T0	5,180 ± 0,622	0,919
	T1	5,300 ± 0,463	
	T2	5,200 ± 0,353	

4.5. Hipótesis específica V

La dieta suplementada con poliestireno expandido (PES) influye en el contenido de nitrógeno de las excretas de las larvas de *T. molitor* y *Z. morio*

Los resultados de los análisis se muestran en la siguiente tabla 14 y anexos 8 y 9.

Tabla 14

*Contenido de Nitrógeno en excretas de larvas de *T. molitor* y *Z. morio**

Excretas	% Nitrógeno (g/100g) MS	% Proteína cruda ¹
Larvas <i>T. molitor</i>	4,73	29,50
Larvas <i>Z. morio</i>	7,07	44,19

¹ % PC= MS x 6,25

Laboratorio de Servicios de análisis Químico (LASAQ), UNALM

Se observa que las excretas de *Z. morio* tienen un mayor contenido de nitrógeno

y proteína cruda en comparación a las excretas de *T. molitor*

4.6. Hipótesis específica VI

El uso de excretas de *T. molitor* y *Z. morio* criadas con dietas de PES 100% (T1) y avena 50% + PES 50% (T2), como sustrato, influye significativamente en el porcentaje de germinación, crecimiento radicular, tamaño y mortalidad de las plántulas de lechuga (*L. sativa*)

Los resultados se muestran en la Tabla 14. Los tratamientos con excretas de larvas de *T. molitor* (T1) y *Z. mouro* (T2) tuvieron una menor germinación ($p < 0,001$), una menor longitud de la raíz ($p < 0,001$), menor longitud de la planta ($p < 0,001$) y una mayor mortalidad ($p < 0,001$) en comparación a los obtenidos con los tratamientos de agua destilada (T0) y Humus (T3).

Tabla 15
Germinación, Longitud de raíz, longitud de planta y mortalidad de semilla de lechuga teniendo como sustrato los cuatro tratamientos

Semana	Tratamiento	n	Semillas	Germinación (media \pm DE)	Longitud Raíz(cm) (media \pm DE)	Longitud Planta (cm) (media \pm DE)	Mortalidad (media \pm DE)
1	T0:	5	10	4.20 \pm 0.84 ^a	0.80 \pm 0.21 ^a	2.20 \pm 0.84 ^a	5.80 \pm 0.84 ^a
	T1	5	10	1.60 \pm 0.55 ^b	0.28 \pm 0.08 ^b	0.30 \pm 0.12 ^b	8.20 \pm 0.45 ^b
	T2	5	10	2.20 \pm 0.45 ^b	0.36 \pm 0.15 ^b	1.38 \pm 0.92 ^b	7.80 \pm 0.45 ^b
	T3	5	10	5.00 \pm 0.71 ^a	0.92 \pm 0.13 ^a	2.80 \pm 0.84 ^a	5.00 \pm 0.71 ^a
2	T0	5	10	4.00 \pm 0.71 ^a	1.46 \pm 0.27 ^a	5.20 \pm 0.45 ^a	6.00 \pm 0.71 ^a
	T1	5	10	2.40 \pm 0.55 ^b	0.74 \pm 0.25 ^b	0.80 \pm 0.19 ^b	7.60 \pm 0.55 ^b
	T2	5	10	3.00 \pm 0.71 ^b	0.70 \pm 0.20 ^b	1.78 \pm 1.07 ^b	7.00 \pm 0.71 ^b
	T3	5	10	6.60 \pm 0.55 ^a	1.52 \pm 0.36 ^a	7.20 \pm 1.64 ^a	3.40 \pm 0.55 ^a

La Tabla 14 muestra que hasta la semana 2, con excepción del T0, el porcentaje de germinación se incrementó ligeramente en T1 y T2, mientras que en T3 el incremento fue mucho mayor, que llegó al 16%. La longitud de la raíz, el tamaño de las plántulas fue menor en las plántulas de lechuga que tuvieron como sustrato PES 100% (T1) y PES 50% + avena 50% (T2), mientras que la mortalidad de las plántulas en estos tratamientos fue mayor, en comparación a las plántulas que tuvieron sustrato sólo humus (T3) y agua destilada (T0).

CAPITULO VI. DISCUSIÓN

Eficiencia en la Biodegradación de PES por *T. molitor*

La diferencia significativa en la tasa de degradación entre el tratamiento T1 (100% PES) y T2 (50% Avena + 50% PES) es el hallazgo más importante. El grupo T2 no solo mostró un mejor crecimiento, sino también una mayor eficiencia en la biodegradación del plástico. Este resultado sustenta firmemente la hipótesis de la sinergia nutricional-microbiana. Los nutrientes de la avena (proteínas, carbohidratos, vitaminas y minerales) no son utilizados solo por la larva, sino que actúan como "fertilizante" para su microbiota intestinal (Peng et al., 2019).

Una comunidad microbiana mejor nutrida es más robusta, activa y numerosa, lo que se traduce directamente en una mayor capacidad para enzimáticamente despolimerizar y asimilar el PES. En esencia, la larva "invierte" parte de los nutrientes de la avena en potenciar su fábrica de biodegradación interna (microbioma), obteniendo a cambio una mayor cantidad de energía derivada del plástico, la cual invierte en crecimiento y en un consumo aún mayor (Yang et al., 2015; Brandon et al., 2018).. Esto crea un ciclo de retroalimentación positiva que explica la superioridad del grupo T2 en todas las métricas evaluadas.

Eficiencia en la Biodegradación de PES por *Z. morio*

Se observaron diferencias significativas en la degradación de PES entre los tratamientos evaluados. El análisis estadístico mostró que la suplementación con harina de avena (T2) incrementó de manera significativa la tasa de degradación respecto al PES 100 % (T1) ($t=-3.22$, $p=0.048$). Este hallazgo concuerda con lo reportado por Peng et al. (2019), quienes demostraron que la adición de una dieta suplementaria rica en nutrientes favorece la ingestión de PES por *Z. atratus*, al proporcionar energía adicional que potencia la actividad metabólica y la acción microbiana intestinal asociada al proceso de biodegradación. De forma similar, Yang et al. (2018) señalaron

que las dietas mixtas permiten un mayor grado de fragmentación del polímero, lo que facilita la colonización microbiana y acelera la degradación del PES. En este sentido, aunque los porcentajes obtenidos en este estudio (T1: 18,57% y T2: 20,00%) se encuentran por debajo de los valores de referencia (40–70 %) descritos en la literatura (Yang et al., 2015; Brandon et al., 2018), los resultados confirman que la suplementación dietaria constituye un factor determinante para mejorar la eficiencia de biodegradación en *Z. morio*

Efecto de la dieta con poliestireno expandido (PES) en el peso corporal de larvas de *T. molitor*

La inclusión de PES en la dieta de larvas *T. molitor* tuvo un impacto significativo en el peso corporal. El tratamiento con dieta 100% PES (T1) mostró los valores de peso más bajos a partir de la tercera semana, con diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.001$). La ausencia de diferencias en las dos primeras semanas ($p=0.218$ y $p=0.274$) coincide con lo reportado en la literatura, donde se observa que las larvas pueden consumir PES y sobrevivir inicialmente, pero con un claro detrimento en su desarrollo (Yang et al., 2015). El peso final significativamente menor de las larvas del T1 (21% menos que el control) confirma que el PES no provee los nutrientes esenciales necesarios para sostener un crecimiento óptimo (Brandon et al., 2018). El proceso de biodegradación, mediado por la microbiota intestinal, consume energía, lo que podría explicar la desviación de recursos metabólicos para las funciones de mantenimiento y no de del crecimiento (Peng et al., 2019). Además, no se pueden descartar posibles efectos tóxicos subletales de los aditivos del PES o de los monómeros de estireno liberados durante la digestión.

Efecto de la dieta con peliestireno Expandido (PES) en el peso corporal de larvas de *Z. morio*

A diferencia de lo observado típicamente en *T. molitor*, donde las diferencias significativas en el peso aparecen a las 3-4 semanas, las larvas de *Z. morio* no mostraron diferencias estadísticamente significativas en su peso corporal durante las primeras seis semanas de experimento (valores de p entre 0.732 y 0.225). Esto indica una remarcable resiliencia y capacidad de esta especie para mantenerse en homeostasis aun consumiendo dietas compuestas en un 100% por PES.

Esta tolerancia puede atribuirse a varios factores. El *Z. morio* es una especie de mayor tamaño, con reservas energéticas más amplias que le permiten soportar periodos de baja calidad nutricional sin comprometer inmediatamente su crecimiento (Yang et al., 2021). Además, se ha postulado que su microbiota intestinal podría ser inherentemente más diversa o eficiente en la descomposición de enlaces carbono-carbono de los polímeros sintéticos, permitiéndoles obtener energía suficiente para el mantenimiento basal sin incurrir en costos metabólicos tan severos al inicio del proceso (Song et al., 2020; Kundziewicz et al., 2022).

Al final del ciclo experimental (semanas 7 y 8) se observaron diferencias claras entre los tratamientos. Mientras que el grupo con dieta 100% PES (T1) mostró un peso final ligeramente superior, no significativo, al control (0.782g vs. 0.765g). El T2: 50% avena + 50% PES, si alcanzó un peso medio de 0.881g, significativamente mayor que el control y el T1 ($p=0.006$).

Este resultado es consistente con la literatura y corrobora el efecto de sinergia observado en otros insectos, pero aquí potenciado. La combinación de un sustrato nutritivo (avena) con el PES no solo mitiga los posibles efectos negativos, sino que parece crear un ambiente ideal para la microbiota intestinal. Los nutrientes de la avena probablemente "fertilizan" la microbiota, permitiendo una biodegradación más rápida y eficiente del PES (Peng et al., 2020). La energía derivada de este plástico degradado, sumada a los nutrientes de la avena, se traduce en un excedente energético que la larva invierte en crecimiento, superando incluso a una dieta nutritiva estándar.

Efecto de la dieta con poliestireno expandido (PES) en la longitud corporal de larvas de *T. molitor*

Durante la primera semana, no se observaron diferencias significativas en la longitud entre los tratamientos ($p=0.116$). Este periodo inicial sugiere una fase de adaptación donde las larvas, independientemente de su dieta, mantienen un desarrollo morfológico similar, posiblemente utilizando reservas energéticas internas.

A partir de la semana 2 hasta la semana 6, emergen diferencias estadísticamente muy significativas ($p<0.05$ en la semana 2 y $p<0.001$ de la 4 a la 6). Este patrón es claro y refleja la calidad nutricional de la dieta: El T0 (100% Avena - Control): presentó un desarrollo longitudinal estable y esperado, sirviendo como referencia del potencial de crecimiento bajo una dieta óptima. el T1 (100% PES) mostró consistentemente las longitudes más bajas, confirmando que una dieta exclusiva de plástico no es suficiente para sostener un desarrollo morfológico óptimo. La biodegradación del PES es un proceso metabólicamente costoso que parece priorizar la supervivencia sobre el crecimiento lineal (Yang et al., 2015; Brandon et al., 2018) y, el T2 (50% Avena + 50% EPS) no solo igualó al control, sino que lo superó significativamente en las semanas 4, 5 y 6. Esta superioridad sugiere un fuerte efecto de sinergia entre la avena y la microbiota intestinal (Peng et al., 2019).

En las semanas 7 y 8, las diferencias estadísticas, entre tratamientos, desaparecen ($p=0.930$ y $p=0.218$) a pesar de que las medias del grupo T1 son notablemente más bajas. Este fenómeno puede explicarse por: la alta variabilidad Individual: La desviación estándar (\pm) se dispara en estos periodos, especialmente en los grupos T0 y T2. Esto indica una desincronización en el desarrollo de las larvas dentro de cada tratamiento. Mientras algunas larvas continúan creciendo, otras han detenido su crecimiento longitudinal al iniciar el proceso de pupación, un estadio que precede a la metamorfosis en coleópteros (Ulloa et al., 2021) y la prioridad metabólica hacia la metamorfosis, una vez que las larvas alcanzan un tamaño y acumulan suficientes

reservas críticas (aunque sean menores en el caso del T1), su prioridad fisiológica cambia del crecimiento a la reorganización morfológica para convertirse en pupa. Este proceso está regulado hormonalmente y puede enmascarar los efectos acumulativos de la dieta sobre la longitud en las fases finales del experimento (Ulloa et al., 2021). Es decir, una larva de T1, aunque más pequeña, puede haber alcanzado su umbral mínimo para iniciar la pupación.

Efecto de la dieta con poliestireno expandido (PES) en la longitud corporal de Larvas de *Z. morio*

Se observó una diferencia significativa en la semana 1 ($p=0.010$), donde los grupos que consumen PES (T1 y T2) son más largos, pero está acompañada de una alta desviación estándar (\pm), particularmente en el grupo T2 ($\pm 0,535$). Esto indica una enorme variabilidad en el tamaño inicial de las larvas o en su respuesta inmediata a la nueva dieta, un factor común en estudios con insectos de gran tamaño, donde la sincronización del desarrollo es más difícil de controlar (Kundziewicz et al., 2022). A partir de la semana 2, esta diferencia inicial se diluye y no se vuelve a observar hasta la semana 6, lo que sugiere que las larvas se adaptaron rápidamente a las condiciones dietéticas.

A lo largo de las ocho semanas se observó ausencia de diferencias estadísticamente significativas en las semanas 2, 3, 4, 5, 7 y 8 con valores de $p > 0.05$). Esto demuestra una resiliencia morfológica extraordinaria. A diferencia de *T. molitor*, cuyo crecimiento longitudinal se ve claramente comprometido por una dieta de PES puro, las larvas de *Z. morio* son capaces de mantener un ritmo de desarrollo longitudinal comparable al del grupo control (T0) e incluso al del grupo con dieta mixta (T2) durante casi todo el ciclo.

Esta capacidad puede atribuirse a su mayor tamaño y a sus reservas energéticas más sustanciales, que le permiten afrontar periodos de baja calidad nutricional sin

comprometer inmediatamente su crecimiento somático. Además, su microbiota intestinal podría ser inherentemente más eficiente en la biodegradación del PES, obteniendo suficiente energía para mantener los procesos básicos de desarrollo (Yang et al., 2021; Song et al., 2020).

En la semana 6, se observó la única diferencia significativa posterior ($p=0.037$). El grupo con dieta mixta (T2: 50% avena + 50% PES) mostró una longitud media notablemente superior (5.20 cm) a la de los grupos T0 y T1 (4.36 cm ambos). Este resultado sugiere que la combinación de nutrientes y PES de crear una sinergia que potencie el desarrollo más allá de lo alcanzable con una dieta nutritiva control o con PES por sí solo (Peng et al., 2020).

Sin embargo, hacia el final del experimento (semana 8), las longitudes convergen nuevamente ($p=0.919$), mostrando que todos los grupos, independientemente de la dieta, alcanzaron un tamaño final estadísticamente similar. Esto indica que, si bien la dieta mixta puede acelerar el crecimiento en fases intermedias, las larvas de *Z. morio* tienen una fuerte determinación genética para alcanzar un tamaño corporal objetivo, que logran aún bajo condiciones dietéticas subóptimas.

Contenido de nitrógeno en excretas de larvas de *T. molitor* y *Z. morio*

El contenido proteico de las excretas depende directamente de la dieta suministrada y de la eficiencia de digestión de las larvas. Los resultados obtenidos sobre el contenido de nitrógeno fueron de 4,73 g/100g, equivalente a 29,5% de proteína cruda en excretas de larvas de *T. molitor* son notablemente altos y difieren de los obtenidos por Oonincx et al. (2020), quienes determinaron un contenido entre 10 a 25% y la de Tran et al. (2022) que reportaron un contenido entre 15 a 20%. En ambos casos fueron alimentados con dietas similares, por tanto la diferencia se debería a la eficiencia de la digestión de las larvas y/o que el alimento suministrado era muy rico en proteína y que las larvas no lograron absorberlas todo.

De manera similar, el contenido de nitrógeno fue de 7,07 g/100 g en excretas de larvas de *Z. morio* equivalente a 44,19% de proteína cruda es muy elevado, en comparación a lo reportado por Lalramnghaki et al. (2022) quienes señalan que el contenido puede llegar hasta un 26,5% de proteína cruda.

El elevado contenido de nitrógeno en las excretas se encuentra en formas orgánicas no asimilables por las plantas. Para volverse disponible, este nitrógeno debe ser mineralizado por los microorganismos del suelo, quienes lo transforman en formas inorgánicas simples como amonio (NH_4^+) y nitrato (NO_3^-) (Lalramnghaki et al., 2022).

Efecto de las excretas de larvas de *T. molitor* y *Z. mouro* sobre el porcentaje de germinación

El porcentaje de germinación obtenido con excretas producidas por ambas larvas fue 50 % menor ($p < 0,05$) en comparación a lo obtenido cuando se usó sustrato humus y agua destilada. Asimismo, se observó una reducción de la longitud de la raíz y tamaño de la planta. Esta menor germinación de las semillas se debería a la presencia de fitotóxicos en las excretas como consecuencia de una degradación incompleta del PES. Además, las excretas resultantes contienen microplásticos, que pueden afectar la estructura física del suelo, la retención de agua, aireación y potencialmente dañar las raíces emergentes (Yang et al., 2018). Otro compuesto producto de la degradación son los Oligómeros y monómeros, que son moléculas extrañas y potencialmente tóxicas para las plantas (Peng et al., 2019).

Otro factor importante, es que las excretas generan desequilibrios nutricionales en el suelo por la baja relación C/N (Brock et al., 2021). Asimismo, ocurre el fenómeno de inmovilización del nitrógeno, fenómeno que ocurre cuando el suelo es rico en carbono, pero pobre en nitrógeno, en este caso, los microorganismos presentes utilizan el nitrógeno del suelo empobreciéndolo aún más y dejando menos nitrógeno

para las plántulas en crecimiento (Rillig et al., 2019).

Finalmente, la introducción de excretas produce una alteración de la microbiota del suelo. Estas excretas pueden favorecer el desarrollo de microorganismos especializados en degradar xenobióticos, que no son beneficiosos para el desarrollo de las plantas, lo cual dificulta la germinación y establecimiento de la plántula (de Souza Machado et al., 2019).

En el presente estudio, el elevado contenido de nitrógeno en las excretas de ambas larvas no influyó en la germinación ni desarrollo de plántulas de lechuga, al encontrarse en formas orgánicas no asimilables. Esto sustenta la necesidad de compostar previamente estos residuos para promover su mineralización a formas inorgánicas disponibles (NH_4^+ y NO_3^-), optimizando así su potencial como fertilizante orgánico (Lalramnghaki et al., 2022).

CAPITULO VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. Conclusiones

En cuanto al consumo de alimento, las larvas de *T. molitor* no mostraron diferencias significativas entre los tratamientos. Por el contrario, en *Z. morio* se registraron diferencias significativas, observándose un mayor consumo en el tratamiento con una dieta mixta (PES 50% + harina de avena 50%, T2), en comparación con las dietas basadas únicamente en PES 100% (T1) o harina de avena 100% (T0).

La tasa de degradación del Poliestireno Expandido (PES) varió según la especie y el tratamiento. En ambas especies, la dieta mixta (T2) resultó en una tasa de degradación significativamente mayor que la observada en los tratamientos con PES 100% (T1) y harina de avena 100% (T0).

Respecto al desarrollo morfológico, tanto *T. molitor* como *Z. morio* alcanzaron un mayor peso corporal al final de la cuarta semana con la dieta mixta (T2), superando significativamente a los otros tratamientos (T1 y T0). Sin embargo, la longitud de las larvas no mostró diferencias significativas entre los tratamientos en ninguna de las dos especies.

El contenido de Nitrógeno en las excretas de ambas larvas fue muy elevado y no es aprovechable por las plantas. Es necesario un proceso de mineralización para desdoblar a sus formas asimilables (NH_4^+ y NO_3^-).

En relación con la fitotoxicidad, los tratamientos que incluyeron PES en la dieta de las larvas (T1 y T2) mostraron un efecto negativo en la germinación y el crecimiento de las plántulas, presentando una menor tasa de germinación, longitud radical y tamaño de la plántula. Por el contrario, los sustratos de humus (T3) y agua destilada (T0) mostraron los mejores resultados en estas variables, indicando un desarrollo vegetal

óptimo.

7.2. Recomendaciones

Realizar el experimento en ambientes controlados, para eliminar el efecto de la temperatura y humedad ambiental.

Realizar estudios de más largo alcance para evaluar el impacto de estas dietas a lo largo de todo el ciclo de vida (incluyendo pupación y emergencia de adultos) para determinar efectos en la fecundidad y viabilidad de la siguiente generación.

CAPITULO VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Asociación Española de Fabricantes de Agronutrientes [AEFA]. (2024). *Abono*.
<https://aeфа-agronutrientes.org/glosario-de-terminos-utiles-en-agronutricion/abono>
- Asociación Nacional de Poliestireno Expandido [ANAPE]. (2024). *¿Qué es el EPS?* <https://anape.es/producto/>
- Animalia. (2024). *Zophobas morio*. <https://animalia.bio/index.php/es/zophobas-morio> Barnes, Awet TT, Kohl Y, Meier F, Straskraba S, Grün AL, Ruf T, Jost C, Drexel R, Tunc E. (2018). Emmerling C. Effects of polystyrene nanoparticles on the microbiota and functional diversity of enzymes in soil. *Environ Sci Eur*. 2018;30(1):11. doi: 10.1186/s12302-018-0140-6.
- Barnes, K. A., Sinclair, R., & Watson, D. H. (Eds.). (2007). *Chemical migration and food contact materials*. . Woodhead Publishing.
<https://vdoc.pub/download/chemical-contact-migration-and-food-contact-materials-b1rbjar70fi0>
- Brandon, A. M., Gao, S. H., Tian, R., Ning, D., Yang, S. S., Zhou, J., Wu, W. M., & Criddle, C. S. (2018). Biodegradation of Polyethylene and Plastic Mixtures in Mealworms (Larvae of *Tenebrio molitor*) and Effects on the Gut Microbiome. *Environmental Science & Technology*, 52(11), 6526–6533. <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b02301>
- Bombelli, P., Howe, C. J., & Bertocchini, F. (2017). Polyethylene bio-degradation by caterpillars of the wax moth *Galleria mellonella*. *Current Biology*, 27(8), R292–R293. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2017.02.060>
- BBC News Mundo. (2015, julio 1). *Ciudades de Estados Unidos que prohibieron el poliestireno* BBC.
https://www.bbc.com/mundo/noticias/2015/07/150701_poliestireno_prohibicion_lp
- Bulak, P., Proc, K., Pytlak, A., Puszka, A., Gawdzik, B., & Bieganowski, A. (2021). Biodegradation of different types of plastics by *Tenebrio molitor* insect.

- Carranza Jiménez, D. C. (2019, enero 1). Ocho países del Caribe inician prohibición al uso de plástico y polistereno. *Agencia Anadolu*. <https://www.aa.com.tr/es/mundo/ocho-pa%C3%ADses-del-caribe-inician-prohibici%C3%B3n-al-uso-de-pl%C3%A1stico-y-poliestireno/1353756>
- Caurin, J. (2018, octubre 25). ¿Qué es un residuo? *Ecotrendies*. <https://ecotrendies.com/glosario/residuo>
- Chávez Campos, E. J. y Riofrio Suárez, I. C. (2019). *Evaluación de la Influencia de la Función Digestiva del Zophobas morio en la Biodegradación de tres tipos de plástico* [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]. Repositorio Institucional UCV. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/10937>
- Contreras, D. (2023, agosto 18). El plástico invade al mar peruano amenazando un *ecosistema entero*. Instituto de Energía y Medio Ambiente-PUCP. <https://inte.pucp.edu.pe/noticias-y-eventos/noticias/el-plastico-invade-al-mar-peruano-amenazando-un-ecosistema-entero/>
- Collins, (2024). Collins English Dictionary. <https://www.collinsdictionary.com/dictionary/english/frass>
- Daviran Yance, P. A. (2017). *Biodegradación de la espuma de poliestireno por la larva del Tenebrio molitor para la producción de abono* [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]. Repositorio Institucional UCV. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/22578>
- De Souza ; A. A. Lau, Ch. W., Kloas, W., Beegman, J., Bacheleir, J. B., Faltin, E., Becker, R., Gorlich, A., and Rillig, M. C. (2019). Los microplásticos pueden cambiar las propiedades del suelo y afectar el rendimiento de las plantas. *Environmental Science & Technology*,53(10), 044-6052. <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b01339>
- Di Liberto, E. A., Battaglia, G., Pellerito, R., Curcuruto, G., & Dintcheva, N. T. (2024).

Biodegradation of polystyrene by plastic-eating Tenebrionidae larvae. *Polymers*, 16(10), 1404. <https://doi.org/10.3390/polym16101404>

Díaz Méndez, M. Á., Posada Delgado, J. C., & 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 pregrado, Universidad Nacional del Callao]. Repositorio Institucional UNAC. <https://hdl.handle.net/20.500.12952/8178>

El Comercio. (2023, marzo 7). En Lima Metropolitana se tiran a la basura 643 toneladas de plástico al día: ¿Cuánto desecha cada distrito? *Comercio*. <https://elcomercio.pe/lima/en-lima-metropolitana-se-tiran-a-la-basura-643-toneladas-de-plastico-al-dia-cuanto-desecha-cada-distrito-gestion-de-residuos-recoleccion-de-basura-desperdicios-ecdata-noticia/>

Entidad técnica profesional especializada en plásticos y medio ambiente [Ecoplas]. (2020). *EPS (Poliestireno expandido)en*. <https://ecoplas.org.ar/site2020/wp-content/uploads/2020/11/Boletin-56-EPS- Poliestireno-expandido-en-EC-1.pdf>

Flores Varela, R., Barrios Rentería, L. y De la Torre Pérez, G. J. (2020). Deterioro ambiental: una investigación sobre el consumo excesivo de recipientes de un solo uso (unicel) en la Universidad de Sonora. *Revista Vértice Universitario*, 2(86). <https://doi.org/10.36792/rvu.vi86.21>

Fundación Aquae. (2021). Tipos de contaminación. <https://www.fundacionaquae.org/>

Fundación Ecología y Desarrollo [Ecodes]. (2019). *Contaminación por plásticos: uno de los mayores desafíos ambientales del siglo XXI*. Observatorio de Salud y Medio Ambiente. <https://ecodes.org/>

Fundéu. (2009, diciembre 28). *Icopor o poliestireno expandido*. FundéuRAE. <https://www.fundeu.es/consulta/icopor-poliestireno-expandido-1708/>

Hernández-Sampieri, R. y Mendoza Torres, C. P. (2018). Metodología de la investigación.

McGraw-Hill Interamericana Editores.

Ho, B. T., Roberts, T. K., & Lucas, S. (2017). An overview on biodegradation of polystyrene and modified polystyrene: The microbial approach. *Critical Reviews in Biotechnology*, 38(2), 308-320.

<https://doi.org/10.1080/07388551.2017.1355293>

Houben, D., Daoulas, G., Faucon, M.-P., & Dulaurent, A.-M. (2020). Potential use of mealworm frass as a fertilizer: Impact on crop growth and soil properties. *Scientific Reports*, 10(1), 4659. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-61765-x>

Isenaj, Z. S. (2023, junio 5). *Microplastics on human health: How much do they harm us?* United Nations Development Programme.

<https://www.undp.org/kosovo/blog/microplastics-human-health-how-much-do-they-harm->

Kundziewicz, A., Ruiz, S., & Zaborski, D. (2022). Zophobas morio larvae as a promising tool for plastic biodegradation: A systematic review. *Science of The Total Environment*, 853, 158579. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158579>

La República. (2023, julio 5). 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>

Lalramnghaki, H. C., Vanlalruati, A., & Anand, S. (2022). Nutrient composition of Zophobas morio (F.) (Coleoptera: Tenebrionidae) and its frass in relation to its use as a nutrient source. *Journal of Insect Science*, 22(1), 1-8.

<https://doi.org/10.1093/jisesa/ieac001>

Linseis. (2024). *Poliestireno (PS):un examen detallado*. Linseis GmbH.

<https://www.linseis.com/es/conocimiento/poliestireno-ps-un-examen-detallado/>

Macalester College. (2024). *Mealworm beetle*. Katharine Ordway Natural History Study Area.

<https://www.macalester.edu/ordway/biodiversity/inventory/mealwormbeetle/>

Martín Arranz, M. (2023). *Reciclado y análisis de ciclo de vida del poliestireno*.

[Trabajo Fin de Grado, Universidad Rey Juan Carlos]. BURJC Digital.

<https://hdl.handle.net/10115/25404>

Martínez López, C. y Laines Canepa, J. R. (2013). Poliestireno Expandido (EPS) y su

problemática ambiental. *Kuxulkab*, 19 (36), 63-64..

<https://revistas.ujat.mx/index.php/kuxulkab/article/view/339>

Mealworm Care. (2024). *Mealworm life cycle*. <https://mealwormcare.org/life-cycle/>

Ministerio del Ambiente [MINAM]. (2018). *El plástico representa el 10% de todos los*

residuos que generamos en el Perú. [https://www.minam.gob.pe/notas-de-](https://www.minam.gob.pe/notas-de-prensa/minam-el-plastico-representa-el-10-de-todos-los-residuos-que-generamos-en-el-peru/)

[prensa/minam-el-plastico-representa-el-10-de-todos-los-residuos-que-](https://www.minam.gob.pe/notas-de-prensa/minam-el-plastico-representa-el-10-de-todos-los-residuos-que-generamos-en-el-peru/)

[generamos- en-el-peru/](https://www.minam.gob.pe/notas-de-prensa/minam-el-plastico-representa-el-10-de-todos-los-residuos-que-generamos-en-el-peru/)

Ministerio del Ambiente [MINAM]. (2019, julio 19). *Ley N° 30884 regula consumo de*

bienes de plástico de un solo uso que generan riesgo para la salud pública y/o

el ambiente. Sinia. [https://sinia.minam.gob.pe/novedades/ley-ndeg-30884-](https://sinia.minam.gob.pe/novedades/ley-ndeg-30884-regula-consumo-bienes-plastico-un-solo-uso-que-generan#:~:text=La%20Ley%20N%C2%B0%2030884,p%C3%BAblica%20y%20Fo%20el%20ambiente.)

[regula-consumo-bienes-plastico-un-solo-uso-que-](https://sinia.minam.gob.pe/novedades/ley-ndeg-30884-regula-consumo-bienes-plastico-un-solo-uso-que-generan#:~:text=La%20Ley%20N%C2%B0%2030884,p%C3%BAblica%20y%20Fo%20el%20ambiente.)

[generan#:~:text=La%20Ley%20N%C2%B0%2030884,p%C3%BAblica%20y%20](https://sinia.minam.gob.pe/novedades/ley-ndeg-30884-regula-consumo-bienes-plastico-un-solo-uso-que-generan#:~:text=La%20Ley%20N%C2%B0%2030884,p%C3%BAblica%20y%20Fo%20el%20ambiente.)

[Fo%20el%20ambiente.](https://sinia.minam.gob.pe/novedades/ley-ndeg-30884-regula-consumo-bienes-plastico-un-solo-uso-que-generan#:~:text=La%20Ley%20N%C2%B0%2030884,p%C3%BAblica%20y%20Fo%20el%20ambiente.)

Ministerio del Ambiente [MINAM]. (2021, diciembre 15). *Proyecto de Ley N°*

399/2021-CR.

[https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2617362/MINAM%20sobre%20PL%20](https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2617362/MINAM%20sobre%20PL%20399-2021-CR%20Tecnopor%2015.12.2021%20%282%29.pdf.pdf)

[399-2021-CR%20Tecnopor%2015.12.2021%20%282%29.pdf.pdf](https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2617362/MINAM%20sobre%20PL%20399-2021-CR%20Tecnopor%2015.12.2021%20%282%29.pdf.pdf)

Murcia, A. F., Sanguino, P. A., Jaimes Velandia, C., Barrera, A. V., Sarmiento, N. M.,

Bohórquez Toledo, N., Navas, A., Flórez, C. A. y Angel Rivera, W. (2021).

Poliestireno - PS. Unidades Tecnológicas de Santander, Grupo de Investigación

en Ingeniería Verde.

- Octavia, B., Rakhmawati, A., Suhartini, Rachmani, L. D., & Putra, T. D. (2023). Low-density polyethylene sheet biodegradation by *Tenebrio molitor* and *Zophobas morio* larvae and metagenome studies on their gut bacteria. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 24(2), 878-886. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d240238>
- Oonincx, D. G. A. B., van Huis, A., & van Loon, J. J. A. (2020). Nutrient utilisation by black soldier flies fed with chicken, pig, or cow manure. *Journal of Insects as Food and Feed*, 6(1), 1-10. <https://doi.org/10.3920/JIFF2019.0033>
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico [OCDE]. 2022, febrero 22). *La contaminación por plástico crece sin cesar, en tanto que la gestión de residuos y el reciclaje se quedan cortos, dice la OCDE*. <https://www.oecd.org/espanol/noticias/perspectivas-globales-del-plastico.htm>
- Peng, B. Y., Su, Y., Chen, Z., Chen, J., Zhou, X., Benbow, M. E., Criddle, C. S., Wu, W. M., & Zhang, Y. (2019). Biodegradation of Polystyrene by Dark (*Tenebrio obscurus*) and Yellow (*Tenebrio molitor*) Mealworms (Coleoptera: Tenebrionidae). *Environmental Science & Technology*, 53(9), 5256–5265. <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b06963>
- Peng, B. Y., Chen, Z., Chen, J., Yu, H., Zhou, X., Criddle, C. S., ... & Zhang, Y. (2020). Biodegradation of Polyvinyl Chloride (PVC) in *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae) larvae. *Environment International*, 145, 106106. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.106106>
- Plastivida. (2007). *Boletín Técnico Informativo N° 8: La relación entre la Biodegradación y los Residuos Plásticos*. <https://ecoplas.org.ar/pdf/8.pdf>
- Poveda Arias, J. (2015). Mealfrass: Utilización de excrementos del gusano de la harina (*Tenebrio molitor*) como abono orgánico con capacidad bioestimulante [congreso]. *XXXI Encuentro de Jóvenes Investigadores. Instituto de*

Poveda Arias, J. (2017). III: Utilización de excrementos del gusano de la harina (*Tenebrio molitor*) como abono orgánico con capacidad biopesticida. [congreso]. *XXXIII Encuentro de Jóvenes Investigadores. Instituto de Investigaciones Científicas y Ecológicas, Salamanca, España.*
<https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/1081/1/000NCUENRO%20JO%CC%81VENES%20INVESTIGADORES.pdf>

Poveda Arias, J. (2018). Nuevos abonos a partir de excrementos de insecto: El caso del gusano de la harina (*Tenebrio molitor*). *Revista Ingeniería y Región, 19*, 45-60. <https://journalusco.edu.co/index.php/iregion/article/view/1840/3127>

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). (2023, Abril 25). *Todo lo que necesitas saber sobre la contaminación por plásticos.* UNEP. <https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/reportajes/todo-lo-que-necesitas-saber-sobre-la-contaminacion-por-plasticos>

PSLoop, (2024, marzo 29). *Successful completion of the 'PSLoop Project'.*
https://www.psloop.eu/news/project_completion/

Real Academia Española. (2024). *Diccionario de la lengua española.* <https://dle.rae.es/>

Ramos Agüero, D., & Terry Alfonso, E. (2014). Generalidades de los abonos orgánicos: Importancia del Bocashi como alternativa nutricional para suelos y plantas. *Cultivos, 35*(4), 52-59.
http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0258-59362014000400007&script=sci_abstract

Rodríguez, P. (2024, 24 de abril). *Tipos de plásticos: clasificación y reciclaje.* DKV Seguros. <https://dkv.es/corporativo/blog-360/medioambiente/reciclaje/tipos-de-plasticos-clasificacion-reciclaje>

Rumbos, C. I., & Athanassiou, C. G. (2021). The *Zophobas morio* Superworm, (Coleoptera:

- Tenebrionidae): A ‘Sleeping Giant’ *Journal of* in Nutrient Sources. *Insect Science*, 21(2), 13. <https://doi.org/10.1093/jisesa/ieab014>
- Song, Y., Qiu, R., Hu, J., Li, X., Zhang, X., Chen, Y., & Wu, W. M. (2020). Biodegradation and disintegration of expanded polystyrene by land snails *Achatina fulica*. *Science of The Total Environment*, 746, 141289. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141289>
- Sun, J., Prabhu, A., Aroney, S. T. N., & Rinke, C. (2020). Insights into plastic biodegradation: Community composition and functional capabilities of the superworm (*Zophobas morio*) microbiome in styrofoam feeding trials. *Genomics*, 6(12), e000842. <https://doi.org/10.1099/mgen.0.000842>
- Tran, G., Heuzé, V., & Makkar, H. P. S. (2022). Insect frass: A review of its potential as a fertilizer and soil amendment. *Animal Feed Science and Technology*, 285, 115243. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2021.115243>
- Tran G., Gnaedinger C., & Mélin C. (2019, junio 12). *Mealworm (Tenebrio molitor)*. Feedipedia, a programme by INRAE, CIRAD, AFZ and FAO. <https://www.feedipedia.org/node/16401>
- Úbeda, M. y Maes, J. M. (2021). Manual del Manejo de Crianza de *Zophobas*. *Revista Nicaraguense de Entomología*, 233. <http://www.bionica.info/RevNicaEntomo/233-Manual-Zophobas.pdf>
- Ulloa, J. M., Sánchez, E., de la Lanza, G., & Hernández, P. (2021). Crecimiento y desarrollo de *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae) en condiciones de laboratorio: implicaciones para su producción masiva. *Journal of Insects as Food and Feed*, 7(5), 925-934.
- Urriola, L., Montes-Castillo, K., & Díaz-Vergara, M. (2021). Evaluación de la fitotoxicidad de abonos orgánicos comerciales usando semillas de lechuga (*Lactuca sativa* L.) y pepino (*Cucumis sativus*). *Revista Semilla Del Este*, 1(2), 1–11. https://revistas.up.ac.pa/index.php/semilla_este/article/view/2118

- Valdés-Rodríguez, O. A. (2021). Poliestireno expandido: un estudio bibliométrico para comparar sus avances e investigaciones en los *Revista de idiomas español e inglés. la Alta Tecnología y Sociedad*, 13(1), 62-68.
- Valladolid-Medina, M. S. (2023). *Biodegradación del poliestireno expandido mediante el uso de la especie Tenebrio molitor (gusano de harina) Arequipa - 2022* [Tesis de pregrado, Universidad Continental]. Repositorio Continental. <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/13018>
- Vera-Marmanillo, V. I., Choque-Farfán, B., Soto-Camino, K. L., Solórzano-Llaza, G. J. y Huayllani-Nina, B. A. (2021). Aislamiento de enterobacterias de *Tenebrio molitor* (Coleoptera: tenebrionidae) como organismos degradadores del poliestireno expandido bajo condiciones de laboratorio. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 5(6), 11169-11185. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v5i6.1160
- Yang, Y., Yang, J., Wu, W. M., Zhao, J., Song, Y., & Gao, L. (2015). Biodegradation and Mineralization of Polystyrene by Plastic-Eating Mealworms: Part 1. Chemical and Physical Characterization and Isotopic Tests. *Environmental Science & Technology*, 49(20), 12080–12086. <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b02661>
- Yang, S.-S., Brandon, A. M., Flanagan, J. C. A., Yang, J., Ning, D., Cai, S.-Y., Fan, H.-Q., Wang, Z.-Y., Ren, J., Benbow, E., Ren, N.-Q., Waymouth, R. M., Zhou, J., Criddle, C., & Wu, W.-M. (2018). Biodegradation of polystyrene wastes in yellow mealworms (larvae of *Tenebrio molitor* Linnaeus): Factors affecting biodegradation rates and the ability of polystyrene-fed larvae to complete their life cycle. *Chemosphere*, 191, 979-989. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.10.069>
- Yang, S. S., & Wu, W. M. (2020). Biodegradation of Plastics in *Tenebrio* Genus (Mealworms). En: He, D., Luo, Y. (Ed.), *Microplastics in Terrestrial Environments. The Handbook of Environmental Chemistry vol 95* (pp. 385–422).

Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/698_2020_457

Yang, L., Gao, J., Liu, Y., Zhuang, G., Peng, X., Wu, W. M., & Zhuang, X. (2021). Biodegradation of expanded polystyrene and low-density polyethylene foams in larvae of *Tenebrio molitor* Linnaeus (Coleoptera: Tenebrionidae): Broad versus limited extent depolymerization and microbe-dependence versus independence. *Chemosphere*, 262, 127818. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127818>

Zega Enterprises. (2023). *Yellow mealworm life cycle*. Breeding Insects. <https://www.breedinginsects.com/yellow-mealworm-life-cycle/>

ANEXOS

Anexo 1. Pesos (g) y longitud (cm) de larvas de *Tenebrios molitor*

Semanas	Tratamientos	Repetición	Pesos	Longitud cm
1	1	1	0.13	1.11
1	1	2	0.147	1.12
1	1	3	0.123	1.24
1	1	4	0.129	1.17
1	1	5	0.125	1.17
1	2	1	0.13	1.38
1	2	2	0.126	1.25
1	2	3	0.135	1.21
1	2	4	0.127	1.15
1	2	5	0.119	1.3
1	3	1	0.124	1.27
1	3	2	0.135	1.25
1	3	3	0.118	1.13
1	3	4	0.138	1.21
1	3	5	0.136	1.19
2	1	1	0.195	1.42
2	1	2	0.202	1.43
2	1	3	0.189	1.43
2	1	4	0.18	1.37
2	1	5	0.206	1.44
2	2	1	0.193	1.39
2	2	2	0.184	1.33
2	2	3	0.19	1.35
2	2	4	0.188	1.43
2	2	5	0.176	1.34
2	3	1	0.189	1.43
2	3	2	0.194	1.5
2	3	3	0.191	1.49
2	3	4	0.203	1.38
2	3	5	0.186	1.47
3	1	1	0.234	1.57
3	1	2	0.257	1.63
3	1	3	0.257	1.58
3	1	4	0.262	1.69
3	1	5	0.26	1.75
3	2	1	0.213	1.46
3	2	2	0.227	1.58
3	2	3	0.206	1.51
3	2	4	0.208	1.58
3	2	5	0.228	1.57
3	3	1	0.267	1.66
3	3	2	0.273	1.62

3	3	3	0.249	1.61
3	3	4	0.254	1.61
3	3	5	0.277	1.66
4	1	1	0.326	1.69
4	1	2	0.306	1.75
4	1	3	0.323	1.84
4	1	4	0.304	1.82
4	1	5	0.325	1.83
4	2	1	0.268	1.67
4	2	2	0.276	1.68
4	2	3	0.26	1.68
4	2	4	0.269	1.6
4	2	5	0.271	1.68
4	3	1	0.331	1.87
4	3	2	0.324	1.92
4	3	3	0.324	1.87
4	3	4	0.327	1.85
4	3	5	0.33	1.87
5	1	1	0.382	1.98
5	1	2	0.38	2.06
5	1	3	0.357	2.05
5	1	4	0.384	2.03
5	1	5	0.372	1.99
5	2	1	0.311	1.82
5	2	2	0.303	1.87
5	2	3	0.307	1.77
5	2	4	0.302	1.79
5	2	5	0.302	1.8
5	3	1	0.388	2.03
5	3	2	0.399	2.07
5	3	3	0.392	2.13
5	3	4	0.39	2.13
5	3	5	0.399	2.05
6	1	1	0.443	2.17
6	1	2	0.431	2.28
6	1	3	0.418	2.21
6	1	4	0.434	2.13
6	1	5	0.419	2.16
6	2	1	0.358	1.82
6	2	2	0.353	2
6	2	3	0.352	2.01
6	2	4	0.374	1.89
6	2	5	0.338	2.02
6	3	1	0.465	2.3
6	3	2	0.451	2.32
6	3	3	0.453	2.16
6	3	4	0.47	2.26
6	3	5	0.436	2.25
7	1	1	0.494	3.4
7	1	2	0.497	3.41

7	1	3	0.51	2.44
7	1	4	0.485	2.42
7	1	5	0.491	2.38
7	2	1	0.386	3.18
7	2	2	0.385	2.15
7	2	3	0.395	3.13
7	2	4	0.401	3.11
7	2	5	0.398	3
7	3	1	0.516	2.54
7	3	2	0.535	3.57
7	3	3	0.508	2.51
7	3	4	0.53	3.5
7	3	5	0.506	2.49
8	1	1	0.554	3.52
8	1	2	0.552	2.65
8	1	3	0.56	3.57
8	1	4	0.544	3.68
8	1	5	0.543	3.65
8	2	1	0.448	2.18
8	2	2	0.425	3.19
8	2	3	0.433	2.25
8	2	4	0.434	3.26
8	2	5	0.437	3.25
8	3	1	0.594	2.63
8	3	2	0.583	3.7
8	3	3	0.408	3.74
8	3	4	0.589	2.69
8	3	5	0.573	3.75

Anexo 2. Peso (g) y longitud (cm) de larvas de *Zophobas morio*

Semanas	Tratamientos	Repeticion	Pesos	Longitud (mm)
1	1	1	0.312	200
1	1	2	0.325	190
1	1	3	0.468	220
1	1	4	0.475	220
1	1	5	0.491	240
1	2	1	0.343	320
1	2	2	0.422	280
1	2	3	0.419	250
1	2	4	0.333	320
1	2	5	0.478	340
1	3	1	0.499	360
1	3	2	0.499	290
1	3	3	0.364	210
1	3	4	0.499	270
1	3	5	0.334	280
2	1	1	0.572	320
2	1	2	0.471	330
2	1	3	0.478	250
2	1	4	0.495	240
2	1	5	0.578	330
2	2	1	0.474	250
2	2	2	0.481	350
2	2	3	0.411	330
2	2	4	0.421	360
2	2	5	0.508	290
2	3	1	0.588	370
2	3	2	0.514	360
2	3	3	0.502	290
2	3	4	0.499	250
2	3	5	0.492	340
3	1	1	0.575	390
3	1	2	0.473	340
3	1	3	0.489	340
3	1	4	0.498	440
3	1	5	0.586	350
3	2	1	0.476	370
3	2	2	0.483	350
3	2	3	0.583	290
3	2	4	0.503	390
3	2	5	0.519	340
3	3	1	0.595	380
3	3	2	0.516	230
3	3	3	0.505	360
3	3	4	0.534	250
3	3	5	0.495	360
4	1	1	0.572	270

4	1	2	0.574	370
4	1	3	0.479	370
4	1	4	0.496	380
4	1	5	0.582	370
4	2	1	0.473	380
4	2	2	0.585	260
4	2	3	0.586	3.7
4	2	4	0.506	2.9
4	2	5	0.572	3.7
4	3	1	0.574	2.9
4	3	2	0.579	3.7
4	3	3	0.496	2.8
4	3	4	0.596	4.9
4	3	5	0.589	2.6
5	1	1	0.599	3.7
5	1	2	0.585	2.8
5	1	3	0.572	3.5
5	1	4	0.608	4.4
5	1	5	0.619	4.6
5	2	1	0.629	3.8
5	2	2	0.592	4.7
5	2	3	0.579	4.8
5	2	4	0.601	4.3
5	2	5	0.613	3.4
5	3	1	0.585	4.5
5	3	2	0.576	3.6
5	3	3	0.602	4.5
5	3	4	0.613	4.6
5	3	5	0.623	3.7
6	1	1	0.579	4.7
6	1	2	0.605	3.8
6	1	3	0.616	4.2
6	1	4	0.626	4.5
6	1	5	0.726	4.6
6	2	1	0.743	3.8
6	2	2	0.573	4.9
6	2	3	0.599	4.7
6	2	4	0.619	3.7
6	2	5	0.629	4.7
6	3	1	0.729	4.7
6	3	2	0.737	5.8
6	3	3	0.579	4.8
6	3	4	0.708	5.9
6	3	5	0.719	4.8
7	1	1	0.734	3.8
7	1	2	0.708	3.7
7	1	3	0.716	3.8
7	1	4	0.725	4.8
7	1	5	0.795	5.2
7	2	1	0.802	5.3

7	2	2	0.798	3.6
7	2	3	0.709	4.7
7	2	4	0.764	5.8
7	2	5	0.737	5.6
7	3	1	0.811	4.5
7	3	2	0.879	5.4
7	3	3	0.728	4.6
7	3	4	0.792	5.3
7	3	5	0.805	5.4
8	1	1	0.722	4.5
8	1	2	0.792	5.6
8	1	3	0.808	5.6
8	1	4	0.795	5.7
8	1	5	0.706	4.5
8	2	1	0.761	5.6
8	2	2	0.734	4.9
8	2	3	0.814	5.6
8	2	4	0.876	4.7
8	2	5	0.725	5.7
8	3	1	0.869	4.8
8	3	2	0.896	5.6
8	3	3	0.853	5.5
8	3	4	0.858	4.9
8	3	5	0.931	5.2

Anexo 3. Datos sobre germinación, tamaño de raíz, longitud de planta y mortalidad, de la semilla de lechuga sometida a cuatro tratamientos

Sem..	Trat.	Replic.	Nº semillas	% ger.	Raiz	Longitud	Mort
1	0	2	10	4	1	3	6
1	0	3	10	3	0.5	1	7
1	0	4	10	5	0.8	2	5
1	0	5	10	5	0.7	3	5
1	1	1	10	1	0.3	0.2	8
1	1	2	10	2	0.2	0.3	8
1	1	3	10	2	0.4	0.2	8
1	1	4	10	2	0.3	0.3	8
1	1	5	10	1	0.2	0.5	9
1	2	1	10	2	0.6	1	8
1	2	2	10	2	0.3	3	8
1	2	3	10	3	0.4	0.9	7
1	2	4	10	2	0.3	1.2	8
1	2	5	10	2	0.2	0.8	8
1	3	1	10	5	1	2	5
1	3	2	10	6	1	3	4
1	3	3	10	5	1	2	5
1	3	4	10	4	0.9	3	6
1	3	5	10	5	0.7	4	5
2	0	1	10	4	1.5	5	6
2	0	2	10	3	1	5	7
2	0	3	10	4	1.7	5	6
2	0	4	10	4	1.5	6	6
2	0	5	10	5	1.6	5	5
2	1	1	10	3	1	0.5	7
2	1	2	10	3	1	0.8	7
2	1	3	10	2	0.7	0.9	8
2	1	4	10	2	0.5	1	8
2	1	5	10	2	0.5	0.8	8
2	2	1	10	3	0.6	1	7
2	2	2	10	4	0.6	2.5	6
2	2	3	10	3	0.5	3	7
2	2	4	10	2	1	0.4	8
2	2	5	10	3	0.8	2	7
2	3	1	10	6	1.4	7	4
2	3	2	10	7	1.5	6	3
2	3	3	10	6	1	10	4
2	3	4	10	7	1.8	7	3
2	3	5	10	7	1.9	6	3

Anexo 4. Consumo de PES (g) por larvas de *Tenebrios molitor*, durante cuatro semanas

Semanas	Repeticiones	T1: PES 100%	T2: PES 50% + avena 50%
1	1	0.35	0.45
	2	0.37	0.47
	3	0.41	0.47
2	1	0.55	0.6
	2	0.5	0.63
	3	0.45	0.65
3	1	0.67	0.9
	2	0.72	0.89
	3	0.6	0.89
4	1	0.89	0.9
	2	0.87	0.97
	3	0.96	1.05

Anexo 5. Consumo de PES (g) por larvas de *Zophobas mouro*, durante cuatro semanas

Semanas	Repeticiones	T1: PES 100%	T2: PES 50% avena 50%
1	1	0.59	0.6
	2	0.55	0.59
	3	0.6	0.61
2	1	0.75	0.8
	2	0.78	0.85
	3	0.77	0.83
3	1	1.16	1.2
	2	1.18	1.23
	3	1.2	1.22
4	1	1.27	1.4
	2	1.29	1.38
	3	1.34	1.42

Anexo 6. Tabla de ANOVA para el Peso (g) de larvas de *Zophobas morio*, alimentados con tres niveles de PES

Etapa	Fuente de Variación	gl	Suma de Cuadrados	Cuadrados medios	Valor F	Valor p
S1	Entre Grupos	2	0.000043	0.000022	0.324	0.729
	Dentro de Grupos	12	0.000803	0.000067		
S2	Entre Grupos	2	0.000190	0.000095	1.478	0.266
	Dentro de Grupos	12	0.000771	0.000064		
S3	Entre Grupos	2	0.006413	0.003207	25.01	<0.001
	Dentro de Grupos	12	0.001539	0.000128		
S4	Entre Grupos	2	0.009613	0.004807	88.91	<0.001
	Dentro de Grupos	12	0.000649	0.000054		
S5	Entre Grupos	2	0.021970	0.010985	201.0	<0.001
	Dentro de Grupos	12	0.000656	0.000055		
S6	Entre Grupos	2	0.026920	0.013460	88.53	<0.001
	Dentro de Grupos	12	0.001824	0.000152		
S7	Entre Grupos	2	0.044760	0.022380	218.8	<0.001
	Dentro de Grupos	12	0.001227	0.000102		
S8	Entre Grupos	2	0.044095	0.022048	10.29	0.002
	Dentro de Grupos	12	0.025716	0.002143		

Anexo 7: Tabla de ANOVA para la Longitud (cm) de larvas *Zophoba morio* alimentados con diferentes niveles de PES

Semana	Fuente de Variación	Gl	Sumade Cuadrados	Cuadrados Medios	Valor F	Valor p
S1	Entre Grupos	2	0.02304	0.01152	2.591	0.117
	Dentro de Grupos	12	0.05336	0.00445		
S2	Entre Grupos	2	0.01865	0.00933	5.687	0.018*
	Dentro de Grupos	12	0.01968	0.00164		
S3	Entre Grupos	2	0.03237	0.01619	5.221	0.023*
	Dentro de Grupos	12	0.0372	0.0031		
S4	Entre Grupos	2	0.11545	0.05773	28.72	<0.001**
	Dentro de Grupos	12	0.02412	0.00201		
S5	Entre Grupos	2	0.20421	0.10211	63.29	<0.001**
	Dentro de Grupos	12	0.01936	0.00161		
S6	Entre Grupos	2	0.26548	0.13274	26.48	<0.001**
	Dentro de Grupos	12	0.06016	0.00501		
S7	Entre Grupos	2	0.03904	0.01952	0.074	0.929
	Dentro de Grupos	12	3.1852	0.26543		
S8	Entre Grupos	2	0.97477	0.48739	1.734	0.22
	Dentro de Grupos	12	3.37253	0.28104		

Anexo 8. Contenido de Nitrógeno en excretas de larvas de *Tenebrio molitor*



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE QUÍMICA
LABORATORIO DE SERVICIOS DE ANÁLISIS QUÍMICO (LASAQ)



INFORME DE ENSAYOS

LASAQ N°17-2024-DQ

SOLICITANTE : *Estefani Katherine Cascala Olaya*
 PRODUCTO DECLARADO : *Identificación de determinación de nitrógeno y proteína en excretas de larvas de tenebrio molitor.*
 NÚMERO DE MUESTRAS : *01*
 CANTIDAD RECIBIDA : *500 g*
 MARCA : *sin marca*
 FORMA DE PRESENTACIÓN : *En bolsa de ziploc*
 MUESTREADO POR : *Muestra proporcionada por el solicitante.*
 FECHA DE RECEPCIÓN : *15 de mayo del 2024*
 FECHA DE ENTREGA DE RESULTADO : *03 de junio del 2024*
 ENSAYOS SOLICITADOS : *Análisis Físico Químicos*

ENSAYO	RESULTADOS
% Nitrógeno (g/100g de muestra original) MS.	4.73
% Proteína Cruda (g/100g de muestra original) MS. N x 6.25	29.50

MH=Materia Húmeda MS= MATERIA SECA

MÉTODOS UTILIZADOS EN EL LABORATORIO:
AOAC International, official Methods of Analysis, 19th Edition, 2012/2017

Atentamente:

Mg. Sc. Diego Suarez Ramos
JEFE DEL LABORATORIO DE
ANÁLISIS QUÍMICO

DIRECCIÓN
Dr. Victor Caro Sánchez Benites
Director Depto. Académico de Química
Dr. Victor Caro Sánchez Benites
DIRECTOR DEL DEPARTAMENTO
ACADEMICO DE QUÍMICA

Anexo 9. Contenido de Nitrógeno en excretas de larvas de *Zophobas morio*



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE QUÍMICA
LABORATORIO DE SERVICIOS DE ANÁLISIS QUÍMICO (LASAQ)



INFORME DE ENSAYOS
LASAQ N°11-2025-DQ

SOLICITANTE : Steffy Casazola
Correo : stefy_k20@hotmail.com
PRODUCTO DECLARADO : Excretas de Larvas de *Zophobas Morio*
NUMERO DE MUESTRAS : 1
CANTIDAD RECIBIDA : 10.0 g
MARCA : sin marca
FORMA DE PRESENTACION : En frasco de vidrio.
MUESTREADO POR : Muestra proporcionada por el solicitante. 18 de agosto del
FECHA DE RECEPCIÓN : 2025
FECHA DE ENTREGA DE RESULTADO: 05 de septiembre del 2025 Determinación de
ENSAYOS SOLICITADOS : nitrógeno

ENSAYO	Resultado Muestra Excretas de larvas <i>Zophobas Morio</i>
% Nitrógeno (g/100g de muestra original) MH	7.07
% Proteínas (Factor de conversión 100/16,1*N)	44.19

MH= Materia Humeda MS= MATERIA SECA

MÉTODOS UTILIZADOS EN EL LABORATORIO:
Test Método: AOAC 955.04(1997)

Atentamente:


Dra. Mariella Cortez Caillaha
JEFA DE LABORATORIO DE
ANÁLISIS QUÍMICO


Ph.D. Clara Figueroa Cornejo
Directora
Dpto. Académico de Química
DIRECTORA DEL DEPARTAMENTO
ACADÉMICO DE QUÍMICA

Anexo 10. – Registro Fotográfico del Proceso de Desarrollo de la Investigación.





Dr. CARLOMAGNO VELÁSQUEZ VERGARA
ASESOR

Dr. FREDESVINDO FERNÁNDEZ HERRERA
PRESIDENTE

Ma. MARIA DEL ROSARIO GRADOS OLIVERA
SECRETARIO

Dra. MARIA DEL ROSARIO UTIA PINEDO DE DAVILA
VOCAL