

UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA AMBIENTAL



TESIS

“La eficacia de las larvas *Zophobas morio* en la biodegradación de bolsas de plástico de alta densidad y baja densidad, Huánuco, 2024”

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

AUTOR: Solis Falcón, Walter Jesús

ASESOR: Arteaga Vega, Adderlin

HUANUCO – PERU

2026

U

D

H



TIPO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN:

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

LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN: Biotecnología y Nanotecnología

AÑO DE LA LÍNEA DE INVESTIGACIÓN (2020)

CAMPO DE CONOCIMIENTO OCDE:

Área: Ingeniería, Tecnología

Sub área: Ingeniería Ambiental

Disciplina: Ingeniería Ambiental

DATOS DEL PROGRAMA:

Nombre del Grado/Título a recibir: Título

Profesional de Ingeniero(a) ambiental

Código del Programa: P09

Tipo de Financiamiento:

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

DATOS DEL AUTOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 71627352

DATOS DEL ASESOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 46018561

Grado/Título: Doctor en Gestión Empresarial

Código ORCID: 0000-003-2701-0594

DATOS DE LOS JURADOS:

N°	APELLIDOS Y NOMBRES	GRADO	DNI	Código ORCID
1	Cámara Llanos, Frank Erick	Maestro en ciencias de la salud con mención: salud pública y docencia universitaria	44287920	0000-0001-9180-7405
2	Tarazona Mirabal, Herman Atilio	Magister en salud pública y gestión sanitaria gestión y planeamiento educativo	22411008	0000-0001-5319-4708
3	Condezo Beteta, Verenisa Nohely	Maestro en Investigación y docencia superior.	45728462	0009-0002-8221-7427



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO
Facultad de Ingeniería

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA AMBIENTAL

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

En la ciudad de Huánuco, siendo las 15:00 horas del día 24 del mes de junio del año 2026, en cumplimiento de lo señalado en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad de Huánuco, se reunieron el sustentante y el **Jurado Calificador** integrado por los docentes:

- Dr. Frank Erick Camara Llanos (Presidente)
- Mg. Herman Atilio Tarazona Mirabal (Secretario)
- Mg. Verenisa Nohely Condezo Beteta (Vocal)

Nombrados mediante la **Resolución N° 1078-2026-D-FI-UDH** para evaluar la Tesis intitulada: **"LA EFICACIA DE LAS LARVAS ZOPHOBAS MORIO EN LA BIODEGRADACIÓN DE BOLSAS DE PLÁSTICO DE ALTA DENSIDAD Y BAJA DENSIDAD, HUÁNUCO- 2024"**, presentado por el (la) Bach. **SOLIS FALCON, WALTER JESUS** para optar el Título Profesional de Ingeniero(a) Ambiental.

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

Habiendo absuelto las objeciones que le fueron formuladas por los miembros del Jurado y de conformidad con las respectivas disposiciones reglamentarias, procedieron a deliberar y calificar, declarándolo(a) APROBADO Por UNANIMIDAD con el calificativo cuantitativo de 13 y cualitativo de SUFICIENTE (Art. 47)

Siendo las 16:00 horas del día 24 del mes de Junio del año 2026, los miembros del Jurado Calificador firman la presente Acta en señal de conformidad.


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


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


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



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO



CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

El comité de integridad científica, realizó la revisión del trabajo de investigación del estudiante: WALTER JESUS SOLIS FALCON, de la investigación titulada "La eficacia de las larvas *Zophobas morio* en la biodegradación de bolsas de plástico de alta densidad y baja densidad, Huánuco-2024", con asesor(a) ADDERLIN ARTEAGA VEGA, designado(a) mediante documento: RESOLUCIÓN N° 0937-2024-D-FI-UDH del P. A. de INGENIERÍA AMBIENTAL.

Puede constar que la misma tiene un índice de similitud del 13 % verificable en el reporte final del análisis de originalidad mediante el Software Turnitin.

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

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

Huánuco, 23 de marzo de 2026



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

119. Solis Falcón, Walter Jesús.docx

INFORME DE ORIGINALIDAD

13%	12%	2%	4%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.udh.edu.pe Fuente de Internet	6%
2	hdl.handle.net Fuente de Internet	2%
3	distancia.udh.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	tesis.bnct.ipn.mx:8080 Fuente de Internet	<1%
5	Submitted to Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann Trabajo del estudiante	<1%



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

DEDICATORIA

A mis queridos padres, Aurelio Juan Solís Aguirre y Glicería Falcón Omonte, por su amor incondicional, apoyo constante y sabias enseñanzas. Gracias por su sacrificio, por creer siempre en mí y por ser mi mayor fuente de inspiración. Este logro es tan suyo como mío.

A mis hermanos, por su apoyo inquebrantable y por acompañarme en cada paso de este camino, compartiendo risas, esfuerzos y desafíos. Cada uno de ustedes tiene un lugar especial en mi corazón.

Este trabajo es un reflejo del esfuerzo colectivo de una familia que siempre ha estado unida, brindándome fuerzas para seguir adelante.

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que me han apoyado y acompañado durante este arduo proceso de investigación.

A mis padres, tíos, hermanos y primos, por su comprensión, su apoyo emocional y por siempre estar allí para motivarme y darme fuerzas cuando más lo necesité. Cada uno de ustedes tiene un papel importante en mi vida y en este proyecto.

A mis amigos, por ser mi constante fuente de ánimo y por brindarme su compañía y palabras de aliento en los momentos de incertidumbre. Gracias por hacerme sentir que no estaba solo en este proceso.

A mi asesor Mg. Adderlin Arteaga Vega y a todos los docentes que, con su conocimiento y orientación, me han guiado en cada etapa de esta investigación. Gracias por compartir su experiencia y por siempre estar dispuestos a brindarme su apoyo.

A mis jurados, el Mg. Herman Atilio Tarazona Mirabal, Mg. Cámara Llanos, Frank Erick y la Mg. Verenisa Nohely Condezo Beteta, por sus valiosas sugerencias, aportes, tiempo y experiencia que enriquecieron significativamente este trabajo.

Finalmente, a todas las personas que de una u otra forma contribuyeron con su tiempo, consejos y comprensión, les agradezco profundamente. Este trabajo no sería posible sin su colaboración y apoyo.

ÍNDICE

DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTO	III
ÍNDICE DE TABLAS	VI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	IIV
RESUMEN	VIII
ABSTRAC	IX
INTRODUCCIÓN	X
CAPITULO I.....	12
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	12
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	12
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	15
1.3. OBJETIVO GENERAL.....	15
1.4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
1.5. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	16
1.6. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN	16
1.7. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN	17
CAPÍTULO II.....	18
MARCO TEÓRICO	18
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	18
2.1.1 ANTECEDENTES INTERNACIONALES.....	18
2.1.2 ANTECEDENTES NACIONALES	20
2.1.3 ANTECEDENTES LOCALES.....	23
2.2. BASES TEÓRICAS	25
2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES	50
2.4. HIPÓTESIS	53
2.4.1. HIPÓTESIS GENERAL	53

2.4.2.HIPÓTESIS ESPECÍFICA	53
2.5. VARIABLES.....	54
2.5.1.VARIABLE DE DEPENDIENTE.....	54
2.5.2.VARIABLE INDEPENDIENTE	54
2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	55
CAPÍTULO III	56
MÉTODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	56
3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN	56
3.1.1.ENFOQUE.....	56
3.1.2 ALCANCE O NIVEL	56
3.1.3. DISEÑO.....	56
3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA.....	57
3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	58
3.4. TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.....	62
CAPÍTULO IV.....	63
RESULTADOS	63
4.1. RESULTADOS DESCRIPTIVOS.....	63
4.2. RESULTADOS INFERENCIALES.....	66
4.3. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS	71
CAPÍTULO V.....	73
DISCUSIÓN DE RESULTADOS	73
CONCLUSIONES	79
RECOMENDACIONES.....	80
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	81
ANEXOS.....	86

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Taxonomía.....	28
Tabla 2 Operacionalización de variables	55
Tabla 3 Coordenadas UTM WGS-84 de la ejecución	59
Tabla 4 Circunscripción temporal de la investigación	59
Tabla 5 Datos recolectados	59
Tabla 6 Datos de masa de plástico descompuesto de cada grupo de estudio	64
Tabla 7 Datos de masa y inicial y final de plástico de los tres grupos	64
Tabla 8 Estadístico descriptivo de la masa final de plástico HDPE	65
Tabla 9 Estadístico descriptivo de la masa final de plástico LDPE	65
Tabla 10 Estadístico descriptivo de la masa final de plástico LLDPE	66
Tabla 11 Prueba de normalidad para cada grupo en cuanto a la masa.....	66
Tabla 12 Prueba de homogeneidad de varianzas para cada grupo en cuanto a la masa	67
Tabla 13 Prueba Estadística de la masa final con ANOVA para muestras independientes en el par de HDPE y LDPE.....	67
Tabla 14 Prueba Estadística de la masa final con ANOVA para muestras independientes en el par de HDPE y LLDPE.....	68
Tabla 15 Prueba Estadística de la masa final con ANOVA para muestras independientes en el par de LDPE y LLDPE	69
Tabla 16 Prueba Estadística de la masa final con ANOVA para una muestra en los grupos HDPE, LDPE y LLDPE	70

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Zophobas morio	28
Figura 2 Fases de vida	31
Figura 3 Tiempo de degradación de los residuos	44
Figura 4 Diseño de la distribución	58
Figura 5 Diagrama del flujo de procedimiento de ejecución de tesis de Chávez y Riofrio.....	60
Figura 6 Diagrama de flujo del proyecto	62
Figura 7 Masa de plástico inicial y final en todos los grupos después del tratamiento	65
Figura 8 Masa final del par HDPE y LDPE	68
Figura 9 Masa final del par HDPE y LLDPE	69
Figura 10 Masa final del par LDPE y LLDPE	70
Figura 11 Masa final y valor de prueba en los grupos HDPE, LDPE y LLDPE	71

RESUMEN

El presente estudio titulado "Comparación de la eficacia degradativa de la larva *Zophobas morio* en la biodegradación de bolsas de plástico de alta densidad y baja densidad", tiene como objetivo Comparar la eficacia degradativa de la larva *Zophobas morio* en la biodegradación de bolsas de plástico de alta densidad, baja densidad y baja densidad lineal. En la metodología, es de tipo con intervención, longitudinal, analítico y prospectivo, con enfoque cuantitativo, nivel aplicativo y con diseño experimento verdadero. La muestra de este estudio fue, 20 gramos de plástico para cada unidad de tratamiento, ya que serán 3 grupos experimentales con 5 unidad de tratamiento cada grupo. Estos grupos fueron distribuidos en 3, grupo de HDPE, LDPE y LLDPE. En cada unidad de tratamiento se utilizó 100 unidades de larvas con 20 gramos de plástico por un periodo de 4 semanas, dando seguimiento y control el proceso. En los resultados se observó que el grupo correspondiente al HDPE presentó la mayor biodegradación con un 69.6% en masa, le siguió el LDPE con un 30% de reducción en masa, mientras que el LLDPE mostró la menor degradación con 19.9% de masa en comparación de dato inicial. Se concluyó que la la eficacia degradativa de la larva *Zophobas morio* en la biodegradación de bolsas de plástico de alta densidad, baja densidad y baja densidad lineal son diferentes, donde el HDPE mostró la mayor biodegradación, seguido por el LDPE, mientras que el LLDPE presentó la mayor resistencia a la descomposición.

Palabras clave: Larvas, biodegradación, eficacia, plástico de alta densidad, plástico de baja densidad, plástico de baja densidad lineal.

ABSTRACT

The present study entitled "Comparison of the degradative efficiency of *Zophobas morio* larvae in the biodegradation of high-density, low-density, and low-linear-density plastic bags" aims to compare the degradative efficiency of *Zophobas morio* larvae in the biodegradation of high-density, low-density, and low-linear-density plastic bags. The methodology is interventional, longitudinal, analytical, and prospective, with a quantitative approach, applicative level, and with a true experimental design. The sample for this study was 20 grams of plastic for each treatment unit, since there will be 3 experimental groups with 5 treatment units each. These groups were distributed into 3 groups: HDPE, LDPE, and LLDPE. In each treatment unit, 100 larval units were used with 20 grams of plastic for a period of 4 weeks, monitoring and controlling the process. The results showed that the HDPE group showed the highest biodegradation with 69.6% by mass, followed by LDPE with a 30% reduction in mass, while LLDPE showed the lowest degradation with 19.9% by mass compared to the initial data. It was concluded that the degradative efficiency of the *Zophobas morio* larva in the biodegradation of high-density, low-density, and low-linear-density plastic bags are different, where HDPE showed the highest biodegradation, followed by LDPE, while LLDPE showed the highest resistance to decomposition.

Keywords: Larvae, biodegradation, efficiency, high-density plastic, low-density plastic, linear low-density plastic.

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, el uso masivo de plásticos ha generado una creciente preocupación ambiental debido a su resistencia a la degradación natural y su acumulación persistente en ecosistemas terrestres y marinos. Dentro de estos materiales, los polímeros como el polietileno de alta densidad (HDPE), polietileno de baja densidad (LDPE) y polietileno de baja densidad lineal (LLDPE) se destacan por su uso extendido en la fabricación de bolsas, empaques y diversos productos de un solo uso. Esta situación ha impulsado la búsqueda de alternativas sostenibles para mitigar el impacto negativo de los residuos plásticos, destacando entre ellas el uso de organismos biodegradadores.

En este contexto, las larvas de *Zophobas morio*, comúnmente conocidas como supergusanos, han demostrado potencial en la descomposición de materiales plásticos gracias a su sistema digestivo capaz de procesar ciertos tipos de polímeros. Investigaciones recientes han explorado su capacidad para degradar plásticos como el poliestireno; sin embargo, aún existe escasa evidencia comparativa sobre su eficacia frente a distintos tipos de polietileno.

La presente investigación tuvo como objetivo comparar la eficacia degradativa de la larva *Zophobas morio* en la biodegradación de bolsas de plástico de alta densidad (HDPE), baja densidad (LDPE) y baja densidad lineal (LLDPE). Para ello, se trabajó con una muestra de 20 gramos de plástico por unidad experimental, distribuidas en tres grupos según el tipo de polímero. Cada grupo incluyó cinco unidades de tratamiento.

Los resultados evidenciaron diferencias significativas en la biodegradación según el tipo de plástico. El grupo de HDPE presentó la mayor degradación, con una pérdida del 69.6 % tanto en masa como en volumen. Le siguió el LDPE, con una reducción del 30 % en masa y 30.6 % en volumen. Por otro lado, el LLDPE mostró la menor eficacia degradativa, registrando solo un 19.9 % de pérdida de masa y un 20.6 % en volumen.

Estos hallazgos permitieron concluir que la eficacia degradativa de *Zophobas morio* varía significativamente según el tipo de plástico, siendo más efectiva sobre HDPE, mientras que el LLDPE presentó mayor resistencia a la biodegradación. Este estudio no solo busca aportar al conocimiento científico

sobre la capacidad degradativa de *Zophobas morio*, sino también promover soluciones biotecnológicas sostenibles que contribuyan al tratamiento y reducción de residuos plásticos, especialmente en contextos donde el reciclaje convencional resulta limitado o ineficiente.

CAPITULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Actualmente en el mundo, la situación de los residuos es muy preocupante, porque se vienen generando masivamente a diario y a consecuencia de ello y su inadecuado tratamiento de estos van afectando nuestra salud humana y ambiental.

Este problema de los residuos sólidos se da inicio con la sobrepoblación mundial y en efecto a ello el consumismo masivo irresponsable de los ciudadanos, generando cientos de miles de toneladas de restos anuales mundialmente, el cual esto se va en crecimiento cada vez más. Es por ello por lo que se está ocasionando impactos socioambientales negativos por su contaminación al ambiente y la alteración de la calidad de todos los recursos naturales renovables. Además, sabemos que no en todos los países se cuenta con el tratado apropiado de los restos y la tecnología avanzada o adecuada para dar una correcta disposición final, hasta ahora el resultado de su manejo no está siendo eficiente, dando lugar las quemas a cielo abierto, puntos críticos en espacios públicos, botaderos no autorizados generando lixiviados altamente tóxicos acarreando enfermedades y daños ambientales.

NEWS MUNDO (2019) en un estudio realizado por un equipo de expertos en evaluación de peligro ha informado que a nivel global se generan por encima de 2.100 millones de toneladas de desechos anualmente, lo que sería adecuado para saturar más de 800.000 piscinas de competencias internacionales. Sin embargo, el 16% que equivale a los 323 millones de toneladas de estos restos es reciclada. EE. UU es responsable del 12% de los desechos mundiales, lo que equivale a un aproximado de los 239 millones de toneladas, a pesar de tener un 4% de la población mundial. Por otro lado, India y China, que ambos países están considerados con un tercio de población total, producen el 27% de los residuos a nivel mundial.

Analizando estos datos revelados, los norteamericanos son los mayores generadores de residuos, tres veces más que las personas que viven en china y siete veces más que los que viven en Etiopía.

La ONU - Programa para el medio ambiente (2021) unos días antes de la 26ª Conferencia de la ONU del Cambio Climático (COP26) se dio a conocer un examen donde resalta que los plásticos al igual que otros materiales contribuyen altamente a la problemática del cambio climático. Usando una evaluación del periodo de vida, se calculó que en el 2015 la producción de los plásticos estuvo relacionada con la emisión de 1,7 giga toneladas de dióxido de carbono equivalente (GtCO₂e), y con esto se estima que para el 2050 esta cifra aumentara aproximadamente en un 6,5 GtCO₂e.

Según su trabajo de investigación de Gutiérrez (2019) nos da a conocer que todo el plástico del mundo desde el año de 1950 hasta 2019 se generaron 3,100 millones de toneladas de plásticos que están siendo utilizados actualmente incluye el material reciclado y los 7,900 millones de toneladas son basura. De ello se estima que la gran cantidad de plásticos con un 74 % está en los vertederos o en el medio Ambiente, 15 % fueron incinerados y el 11 % reciclados. Debido a ello también nos indica que toda persona ya donde sea se encuentre en todo el mundo están expuestas a toxinas u otras sustancias químicas que este contiene.

Cuando se fabrican las bolsas de plásticos se llega a consumir altas cantidades de energía, además estas bolsas llevan en su composición por materias provenientes del petróleo, estos demoran en desintegrarse aproximadamente más de 50 años. Estas bolsas de plásticos en su mayoría son desechadas fácilmente en las calles, ríos entre otros. Los afectados directamente son los animales marinos, porque todos estos residuos de plásticos llegan a acumularse en grandes cantidades en los océanos, generándoles la muerte tras ingerirlas o enredarse en ellas.

La ONU según el programa de las Naciones Unidas para el medio ambiente en 2021 los plásticos constituyen el 85% de los desechos que llegan a los mares. Además, estima que, en el año 2040, la cantidad de los

plásticos que llegará a los mares se multiplicará por 3, con un estimado anual entre 23 y 37 millones de toneladas. Lo que esto se traduce con un aproximado de 50 kilogramos de plástico por M de costa Globalmente.

MINAM (2018) según el Ministerio de Ambiente, en el año 2018 el plástico constituía un 10 % de todos los desechos generados por el país. A partir del 2015 se tiene el crecimiento de plásticos muy alto, el proceso para transformar o degradar demora de 100 a 500 años aproximadamente, y en el mundo llega hasta 13 millones de toneladas anuales de residuos plásticos en los océanos, Cada habitante utiliza un promedio de 30 kg plásticos cada año. Además, es añadido un tanto de 3 mil millones de bolsas plásticas, lo que equivale a una cantidad de 6 mil bolsas/minutos. En Lima Metropolitana y en Callao, se producen una cantidad de 886 toneladas de desechos plásticos diariamente, lo que constituye un 46% de los residuos en todo el país.

El MINSA (2014) según sus estudios, alrededor de 100 toneladas de residuos sólidos se depositan diariamente al vertedero de Huánuco. Lo que se estima que cada ciudadano de Huánuco y sus alrededores arrojan entre 0.50 y 0.60 kilogramos. A nivel nacional solo un 19.3% de los desperdicios sólidos municipales generados se disponen correctamente a las fosas sanitarias. El informe nacional en cuanto al aprovechamiento de los sobrantes sólidos menciona que solo un 26% se disponen correctamente, y así determinando que el distrito de Huánuco es el mayor generador seguido por Amarilis y Pillcomarca.

Revisando todas estas situaciones de problemas generados por las bolsas de plásticos a nivel mundial, nacional y local (Huánuco), hay investigaciones que ayudan a mitigar el impacto, como son el uso de larvas con capacidad de degradar diversos tipos de bolsas.

Ante ello mi propuesta como bachiller en Ingeniero Ambiental fue: Comparación de la eficacia degradativa de la larva en la biodegradación de bolsas de plástico de alta densidad y baja densidad, después de ejecutar el proyecto propuesto, analizando todos los parámetros considerados a controlar se definió y concluyó en cuales de esas bolsas fue más eficaz la larva

Zophobas morio para la biodegradación, dando lugar a replicas en diferentes escalas y poder disminuir la repercusión en cuanto al daño ambiental y salud de las personas.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Problema general

¿Cuál es la eficacia degradativa de la larva *zophobas morio* en la biodegradación de bolsas de plástico de alta densidad, baja densidad y baja densidad lineal?

Problema específico

¿Cuál es la eficacia de la biodegradación de bolsas de plásticos de alta densidad?

¿Cuál es la eficacia de biodegradación de bolsas de plástico de baja densidad?

¿Cuál es la eficacia de la biodegradación de bolsas de plástico de baja densidad lineal?

1.3. OBJETIVO GENERAL

Comparar la eficacia degradativa de la larva *Zophobas morio* en la biodegradación de bolsas de plástico de alta densidad, baja densidad y baja densidad lineal.

1.4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Analizar la eficacia de la biodegradación de bolsas de plásticos de alta densidad.

Analizar la eficacia de la biodegradación de bolsas de plástico de baja densidad.

Analizar la eficacia de la biodegradación de bolsas de plástico de baja densidad lineal.

1.5. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La problemática del uso de las bolsas viene causando un grave daño directamente a los océanos, por lo que no existe aún un debido tratamiento y compromiso de parte de los responsables en su administración. Además, la descomposición de este material es demasiado lenta, a base de ello se dio la propuesta de esta investigación en la que su objetivo fue realizar el uso correcto de las larvas para acelerar en la biodegradación de este tipo de desechos, aportando la reducción de daños ambientales y salud de las personas.

El desarrollo de esta investigación ayudó en la elección del tipo de plástico para más biodegradable ante la problemática de las bolsas de alta densidad, baja densidad y baja densidad lineal haciendo uso de las larvas *Zophobas morio*.

Analizando diferentes antecedentes, estudios y experimentos puedo decir que no existe una investigación similar a la que se desarrolló en la ciudad de Huánuco. Según antecedentes internacionales similares a este proyecto, los impactos que muestran son positivos para el ambiente y calidad de vida. Los resultados y discusiones que reflejó este proyecto sirvieron de mucha ayuda para sustentar posteriores estudios de investigación.

1.6. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

El desarrollo de este proyecto se realizó a pequeña escala debido a la limitación de recursos disponibles. Un aspecto relevante durante la ejecución fue la adquisición de las larvas de *Zophobas morio*, las cuales fueron obtenidas desde la ciudad de Lima, Perú. Debido a la distancia y el tiempo de traslado, se presentó un porcentaje significativo de mortandad en las larvas, lo que afectó económicamente el desarrollo de la investigación. Este contratiempo implicó la necesidad de adquirir larvas adicionales para el desarrollo del proyecto, lo que aumentó los costos operativos.

A pesar de esta dificultad inicial, una vez superado el problema relacionado con la adquisición y transporte de las larvas, no se presentaron

otras limitaciones importantes que impidieran la ejecución de la investigación. El proyecto culminó sin contratiempos, lo que subraya la relevancia y el interés que tiene este tema en cuanto a la problemática ambiental. La biodegradación de plásticos es un campo de estudio que cada vez toma mayor importancia debido a los efectos perjudiciales del plástico en el medio ambiente, y la investigación sobre el uso de organismos como *Zophobas morio* para este fin es un área de gran interés y potencial.

No obstante, es importante resaltar que para continuar con la investigación a mayor escala y profundizar en los resultados, es esencial contar con el apoyo necesario. Actualmente, no cuento con los recursos suficientes para expandir el proyecto, lo que limita el alcance y la replicabilidad de los experimentos en mayor número de condiciones. Por lo tanto, se hace necesario buscar financiamiento y colaboración externa, con el fin de asegurar la disponibilidad de recursos suficientes, tanto materiales como humanos, para llevar a cabo un estudio más exhaustivo y detallado. La cooperación institucional y el respaldo de entidades comprometidas con la investigación científica y el cuidado ambiental serían clave para dar continuidad a este proyecto, con el objetivo de obtener resultados más concluyentes y aplicables a gran escala.

1.7. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN

Este proyecto, en cuanto a la viabilidad fue positivo, ya que se tuvo fácil acceso a las bolsas de plásticos (del uso cotidiano en casa), que permitió como muestra realizar evaluaciones con las variables. De mismo modo, la cantidad de larvas que se usaron fueron de fácil adquisición a precios bajos, ante los demás materiales que se necesitó, fueron cubiertos por el tesista. El espacio para ejecutar fue en mi vivienda, lugar específica y adecuada.

Sumando a ello se cuenta con el compromiso, conocimientos y disponibilidad de tiempo para dar seguimiento a todo el proceso. El estudio propuesto por mi persona servirá para replicar en diferentes instituciones y a diversas escalas.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1 ANTECEDENTES INTERNACIONALES

López (2020) realizó una investigación en la Universidad Central del Ecuador, titulada: *Evaluar la Capacidad de supervivencia de dos clases de escarabajos (Dermestes y Tenebrio Molitor) cuando son sometidas a dietas basadas en plásticos, específicamente poliestireno y polietileno*. Con el **objetivo** de demostrar la suficiencia de sobrevivencia de los escarabajos: *Dermestes* sp. y *Tenebrio molitor*, al ser sujetas a 2 tipos de alimentación que están establecidos en plásticos de tipo; poliestireno y polietileno. Además, se buscó recopilar datos sobre la biodegradación de estas especies con una cantidad de 17 tipos diferentes de resinas. En la **metodología** se aplicó 2 procesos uno de ellos con poliestireno y el siguiente con polietileno en un tiempo de 10 días por cada uno utilizando 40 larvas en frascos separados. Para la selección de las larvas se tomó en cuenta que estas sean del mismo tamaño y etapa. Se observó que los gusanos de *Tenebrio molitor* demostraron mayor eficiencia en la biodegradación del Poliestireno a comparación con las larvas *Dermestes* sp. Se obtuvo como **Resultado**, que las dos especies durante su dieta con el poliestireno eran altamente viables, ya que se pudo desintegrar los plásticos eficientemente. **Concluye** Con decir que la degradación esta especie es provechosa para poner en marcha una técnica de gran tamaño para desintegrar por completo este tipo de residuos y así se aportaría más con la población.

Jiang et al. (2021) en su estudio *Biodegradación de poliestireno por larvas de Tenebrio molitor, Galleria mellonella y Zophobas atratus y comparación de sus efectos de degradación*. Con **objetivo** de comparar en laboratorio la capacidad de tres especies de larvas (*Tenebrio molitor*, *Galleria mellonella* y *Zophobas atratus*) para biodegradar bloques de EPS, midiendo tanto la pérdida de masa del plástico como el estado y supervivencia de las larvas. En la **metodología** se incubaron 200 larvas

de cada especie durante 30 días a 25 °C, alimentándolas exclusivamente con 3 g de EPS (tratamiento) o con su dieta habitual (control). Cada cinco días se cuantificó la masa residual de EPS y al final se analizó químicamente el frass para detectar fragmentación de cadenas. Los **resultados** mostraron en *Z. atratus* degradó 7.95 g de EPS (2.78 mg/larva·d), *G. mellonella* 3.08 g (1.57 mg/larva·d) y *T. molitor* solo 0.19 g (0.07 mg/larva·d). Las tasas de supervivencia bajo dieta de EPS fueron 90.5 % (superworm), 27.0 % (wax moth) y 75.5 % (mealworm). Análisis de frass (GPC, FTIR, ¹H-NMR) confirmó rotura de cadenas y aparición de grupos funcionales (C–O, C=O, R–OH) e intermediarios (ácidos carboxílicos, alcoholes). En **conclusión**, *Zophobas atratus* mostró la mayor eficacia degradativa de EPS, seguido de *Galleria mellonella* y luego *Tenebrio molitor*. Estos resultados indican que la selección de la especie y sus enzimas o microbioma intestinal son determinantes para optimizar la biorremediación de residuos de poliestireno.

Citando a Cardozo (2020) en su investigación *Descomposición de poliestireno expandido por larvas de Tenebrio molitor L. (Coleóptera: Tenebrionidae), en un entorno controlado de laboratorio*. Su **objetivo** principal se basó en examinar la eficacia de consumición y descomposición del PE (Poliestireno Expandido) por las larvas de *Tenebrio molitor* L. (Coleóptera Tenebrionidae) en un entorno de laboratorio controlado. Como **metodología**, especifica 1) Determinó la cantidad de poliestireno expandido que puede consumirse por los gusanos de *Tenebrio molitor*. 2.) Evaluó la habilidad *Tenebrio molitor* para descomponer del PE poliestireno expandido. Para ello se usó un diseño experimental por completo al azar con 4 procesos (T1-10 Larvas (L), T2-20 L, T3-30 L, T4-40 L), Por cada uno se realizó cinco repeticiones, utilizando 500 mg de poliestireno expandido. Se recopilaron datos semanalmente para medir la cantidad de poliestireno consumido por las larvas en cada tratamiento, así como el peso de los desechos producidos por las larvas. Como **resultado**, Se encontraron diferencias significativas entre los procesos ($P < 0.05$) utilizando larvas de

Tenebrio molitor en cuanto al consumo y la degradación, lo que demuestran eficacia del proceso 3. Además, se confirmó de dicha cantidad de larvas no dispone lo suficiente en biodegradar y consumir. Se llega a la **conclusión**; que *Tenebrio molitor* podría ser utilizado con la finalidad descomponer el (PE) (Poliestireno Expandido) en un entorno de pequeña escala.

Según Cungan et al. (2022) en su investigación Titulada *La descomposición de plástico utilizando larvas del insecto Tenebrio molitor como una aportación interdisciplinaria a la biotecnología ambiental*. El **objetivo** de este estudio fue investigar el proceso de biodegradación de plásticos, dado que la contaminación representa el impacto humano más significativo en el planeta, abarcando tanto elementos naturales como artificiales, así como las diversas actividades fisicoquímicas, socioculturales y relaciones que tienen lugar en el ambiente, con los objetivos para analizar a los gusanos del escarabajo *Tenebrio molitor*, y así aportar conocimientos a la biotecnología ambiental. Como parte de la **Metodología**: esto se desarrolló en tres etapas: la descripción de las características de estos gusanos de *Tenebrio molitor*; el cuidado y la alimentación de los gusanos y la medición de su habilidad para biodegradar los plásticos. Como **resultados** fueron: los hallazgos revelaron que la muestra 1(M1) produjo 6.6g de biomasa de forma específica, mientras que la 2(M2) registro 2.3g. Además, se observó una diferencia en el color y peso de las heces. Se llegó a la **conclusión** que la producción de compost es influenciada por la biodegradación del poliestireno, así beneficiando el tratado de plásticos.

2.1.2 ANTECEDENTES NACIONALES

Teniendo en cuenta a Castro y Muñoz (2023) en su tesis *“Biodegradación con larvas de zophobas morio en residuos de poliuretano y polipropileno, San Juan de Lurigancho, 2023”*, tuvo como **objetivo** Evaluar si el uso de larvas de *Zophobas morio* puede facilitar la disminución de residuos de poliuretano y polipropileno en San Juan de Lurigancho, 2023. Para ello se emplearon 2 distintos grupos con 2 repeticiones con el fin de obtener la descomposición de estos residuos:

Poliuretano y polipropileno con la finalidad de diferenciar la cantidad de masa biodegradada en ambas muestras. La **metodología**: Ambos tratamientos tuvieron una duración de 6 semanas, lo que equivale a 28 días. En el tratamiento 1, se utilizó una mezcla que proviene del tracto digestivo del gusano *Zophobas morio*, que estaban en contacto con estos tipos de plásticos por el tiempo indicado. Mientras que, en el tratamiento 2, se usó los gusanos vivos del *Zophobas morio*, también en contacto con el material plástico con el objetivo de consumirlos. Se realizaron 2 mediciones basadas en el tiempo: la primera al inicio del experimento (Semana cero), y la última medición se llevó a cabo al final del periodo (Semana tres), se ha realizado la medición final. Los **resultados** fueron adquiridos a través de la realización de la observación, el experimento y el análisis estadístico. Por la cual se **concluyó** que: El mayor consumo se presenta en el grupo R2 con 0,9273 gramos, por otro lado, el menor consumo se presentó en R1 con 0,5887 gramos. El consumo promedio total para esta dieta fue de 2,114 gramos y su variación de masa es 34,71%.

Gutiérrez (2020) en su investigación titulada: *“Biodegradación de polietileno de baja densidad utilizando hongos, bacterias y grupos microbianos aislados del botadero municipal de Tacna”*. Su **objetivo** era examinar la descomposición del polietileno (PEBD) con el uso de mediante, hongos y bacterias encontrados en el botadero de la municipalidad de Tacna, tuvo como **metodología** que durante el análisis del proyecto se recolectaron 30 muestras de bolsas y botellas de polietileno de baja densidad (PEBD) del botadero municipal, este muestreo se llevó a cabo con el fin de detectar daños particulares, lo que podría sugerir la presencia visible en actividad de microbios. **Resultados**, se observa una disparidad considerable con la masa inicial y la masa final de los granos de polietileno de densidad baja (LDPE) que fueron tratados con el complejo microbiano durante un periodo superior a 70 días, en comparación con la masa de las partículas de (LDPE) de grupo control. En **conclusión**, Se identificaron 9 cepas bacterianas de varios grupos microbianos, para ello se utilizó polietileno de densidad

baja fundido en agua salada como proveedor del carbono. En la mezcla uno, como promedio en degradar el polietileno de densidad baja es de 2, 08% con distintos grupos microbianos, mientras que en la Mezcla dos, mostró una tasa de porcentaje de 6,4 % de biodegradación, se hizo el aislamiento de cocos Gram + y bacilos Gram – de *Rhodotorula* sp y en la mezcla tres, el daño ocasionado al polietileno de densidad baja causada por el grupo bacteriano se afirmó por medio del microscopio electrónico.

Según Portocarrero (2021) en su investigación titulada: “*Descomposición natural del poliestireno utilizando el gusano de la harina para promover la sostenibilidad en empresas, Universidad Peruana Cayetano Heredia, Lima*”. El **objetivo** fue imitar el procedimiento de biodegradación de los plásticos utilizando las larvas de *Tenebrio*, como fundamento científico para elaborar una propuesta de gestión adecuada de desechos de poliestireno. Se aplicó una metodología que consistió en comparar distintas **metodologías** para la degradación de poliestireno mediante los gusanos *Tenebrio*, considerando 13 autores distintos y analizando los resultados de cada uno. Se usó los siguientes criterios: 1) Las investigaciones científicas deberían estar publicadas en las revistas indexadas o tesis de las Universidades autorizadas; 2) Estos cometidos debían estar relacionadas con el crecimiento del *Tenebrio* y/o la biodegradación de los plásticos. Los **resultados** fueron, el tiempo de la vida de las larvas de *Tenebrio* fue influenciada por la condición del ambiente, como T° y la humedad, del mismo modo las condiciones alimentarias durante su cuidado. Además, se ha observado que estas larvas pueden degradar el poliestireno. Al **Concluir** con el trabajo propusieron recomendaciones sobre líneas y direcciones de investigaciones. Las futuras investigaciones buscan contribuir en los avances tecnológicos mediante el Tratado de *Tenebrio molitor* para biodegradar el poliestireno con el propósito de convertirlo en un recurso importante para las empresas que buscar luchar con este desafío

Díaz et al. (2023) en su tesis titulada “*Estudio de la biodegradación de desechos de poliestireno expandido (EPS) en escala de laboratorio Utilizando larvas de Tenebrio molitor, Callao 2023*”. Como objetivo fue analizar las capacidades de los gusanos de Tenebrio, al utilizar abonos orgánicos para biodegradar restos de poliestireno expandido. Esta investigación se enfocó en la práctica, con el enfoque de tipo cuantitativo y de diseño tipo experimental a largo plazo. La población de estudio consistió en los desechos de Poliestireno Expandido generado por las empresas industriales. La **Metodología** consistió en utilizar 7.5 gramos de restos de poliestireno expandido divididos en 12 grupos. Se aplicó un diseño experimental 4x4 y se realizó una evaluación estadística utilizando ANOVA de un factor, esta parte experimental se llevó a cabo por 30 días. Como **resultado** se comprobó que los gusanos de Tenebrio impactan positivamente en la degradación de los restos de Poliestireno Expandido, cuando se utilizan sustratos orgánicos. Además, se determinó que la dosis óptima de sustratos orgánicos es del 75% lo que logra una degradación de hasta un 57%. En consecuencia, se llega a **concluir** que los gusanos mencionados junto con los abonos orgánicos utilizados son eficaces para reducir los residuos del poliestireno expandido.

2.1.3 ANTECEDENTES LOCALES

Citando a Codezo (2022) en su investigación “*La capacidad de las larvas de Tenebrio molitor para degradar polímeros en Huánuco 2019*”. Su **objetivo** fue utilizar un enfoque de investigación experimental para la evaluación de la efectividad de los gusanos de *Tenebrio molitor* en la biodegradación de distintos tipos de polímeros, como el poliestireno, las bolsas de baja densidad y los pañales. En la **Metodología** se describen los procedimientos utilizados para recopilar información sobre el consumo de polímeros involucrado y las heces producidas en un lapso de 45 días. Además, se desarrolló los análisis fisicoquímicos en la sala de laboratorio. En la redacción de la parte teoría se adjuntó informaciones con respecto a ambas variables (calibración y estimación), a partir de archivos estructurados. Se emplearon 0.231g de

poliestireno (Tecnopor D10), bolsas de baja densidad y pañales en muestras repetidas las cuales fueron consumidas por las larvas a 25°C. Los **resultados** de los experimentos indicaron que se observaron una disparidad en las eficacias del poliestireno plástico ($p=0.012$) y los pañales plásticos ($p=0.038$). No obstante, no se encontraron desigualdades relevantes entre el poliestireno y el rendimiento del pañal ($p=0.803$). Además, se constató que el poliestireno se degrada en un 86,132%, las bolsas plásticas de baja densidad en un 18,978% y los pañales en un 73,527%. En **conclusión**, se evidenció una discrepancia relevante en la degradación de los polímeros.

Rivera (2023) en su trabajo de investigación: “*Evaluación de la eficiencia de la capacidad degradativa de la larva Tenebrio molitor de la biodegradación de recipientes desechables (elaborados con almidón de maíz y poliestireno) Huánuco -2022*”. Se planteó como **objetivo**, principal es constatar la eficacia en la capacidad de degradar con gusanos Tenebrio los recipientes desechables (fabricados con almidón de maíz y poliestireno). Sobre la **metodología** consistió en criar larvas de *Tenebrio molitor* que fueron alimentadas con envases desechables, el primero constituido por poliestireno y el segundo constituido por fécula de maíz en el lapso de un periodo de tiempo de 1 mes, con la toma de datos semanal. Se utilizaron 10 envases de plástico de estas medidas: de Largo 9.60cm. de ancho 9.60cm, y de alto 11.50cm, de capacidad con 680ml. Se colocaron 30 gramos de envases desechables hechos de poliestireno en cada 5 recipientes, mientras que en los siguientes 5 se colocaron 30 gramos de recipientes desechables de almidón de maíz. 100 gusanos de Tenebrio fueron introducidos en un recipiente, de las cuales fueron 10 repeticiones. Culminando la cuarta semana se tienen los **resultados** para el poliestireno es de 10.50 % de alto, 10.00 % en masa y 9.98 % de volumen, mientras que el envase de maíz tuvo 23.00 % de alto, 12.00 % en masa y 12.00 % de volumen. En **conclusión**, se determina que la degradación de frascos descartables hechos de fécula de maíz es más efectiva que la de los frascos descartables hechos de poliestireno.

Teniendo en cuenta a Rivas (2020) con su tesis titulada: “*La habilidad de la cucaracha *Periplaneta americana* (Linnaeus, 1758) para biodegradar bolsas de plástico y film con el fin de producir abono*”. Su **objetivo** fue llevar a cabo una evaluación de la capacidad de biodegradación de los invertebrados *Periplaneta americana* en Film y bolsas de plástico, así como su impacto para la producción de abonos. Buscó determinar si los invertebrados separados cuentan con capacidad de degradar los 2 tipos de bolsas plásticas y Film. Como **metodología** buscó llevar a cabo dos experimentos (T1 y T2) que implican el uso de una película de bolsa de plástico o Film aproximadamente 0.1gramos más una cucaracha, repetido por cinco veces durante un periodo de 1 a 2 semanas. Estos experimentos se realizaron a una T° de 35°C y 60 % humedad con un equipo incubadora tipo Rcom 20. Como **resultados** en la capacidad degradativa en promedio con las cucarachas *Periplaneta americana* en una semana fue de 0.6mg de bolsas plásticas y en el caso del Film fue de 0.9mg, mientras que para las dos semanas es 1mg de bolsa de plástico y 0.3mg en el film. Además de ello en el retiro del aparato digestivo se observó a las bacterias: *Bacillus* sp. *Pseudomonas* sp., y al hongo *Candida albicans*. Se **concluyó**: En el T1 fue donde se observó mayor degradación (creando nuevos tipos de grupos funcionales), y menor cantidad de pérdida en masa de los invertebrados mediante la degradación de los plásticos (18.78 %), y mayor cantidad en producción de heces se examinó los micronutrientes parámetros físicos y químicos.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1 LARVAS

En la página de Tintero (2023) la larva es una etapa de desarrollo de distintos animales, sucediendo después del nacimiento o eclosión y antes de alcanzar su etapa adulta. En esta etapa se diferencia del adulto adaptándose a distintos entornos. En algunos casos las larvas son acuáticas y de adultas pasan a la tierra, en otras especies tienen una vida libre en su

etapa adultes llegando a formar una unidad motora. La larva a menudo es la etapa donde recolectan sus alimentos beneficiándose de la fase en donde la comida es abundante y para ello cuenta con un aparato alimentario bastante desarrollado, lo que esto le beneficia guardar comida para su transformación a la etapa adulta.

2.2.2 LARVAS CON CAPACIDAD DE DEGRADAR PLÁSTICO

Larva del lepidóptero *Galleria mellonella*:

Bertocchini (2022). Un hallazgo reciente ha puesto el foco en ciertos gusanos de insectos que tienen la capacidad de descomponer las estructuras de poliolefinas altamente resistentes, como el polietileno (PE) y el poliestireno (PS). Específicamente, uno de estos gusanos, la del lepidóptero *Galleria mellonella*, conocida comúnmente como larva de la cera, demostró un marcado apetito por la degradación del plástico. La capacidad de este gusano fue descubierta en mi laboratorio como resultado de un gran interés para la naturaleza y la preocupación por el plástico, junto con un toque de casualidad.

Larva el *Zophobas morio*:

Además de ser una fuente de alimento para peces y serpientes, las larvas del gusano morio, nativo de Centroamérica y América del sur, podrían desempeñar un papel crucial en el reciclaje, ya que tienen una enzima bacteriana en su intestino que les permite consumir poliestireno, un material flexible, y digerirlo. Estas larvas pueden subsistir alimentándose parcial o totalmente de poliestireno, ya que, gracias a las enzimas, bacterias y hongos presentes en su microbiota intestinal, descomponen estos compuestos en moléculas menos perjudiciales para el medio ambiente (Palmira, 2023).

Larva del *Tenebrio molitor*:

BBC (2015). El gusano rey (*Tenebrio molitor*), que los estudiosos descubrieron son capaces de comer poliestireno, que es un plástico no degradable utilizado en la fabricación de recipientes descartables. Estos investigadores observaron que estos animales tienen la capacidad de transformas hasta en un 50% del poliestireno que consumen en CO₂ y la otra cantidad los excreta como trozos biodegradados.

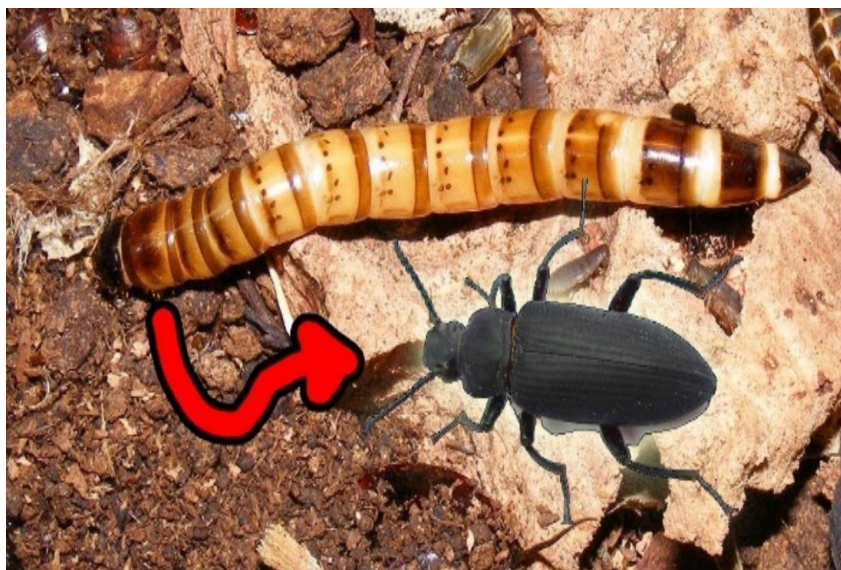
2.2.3 ZOPHOBAS MORIO (GUSANO REY)

Según Roberto (2013) se trata de un tipo de escarabajo perteneciente a la familia Tenebrionidae, popularmente llamado gusano de harina, gusano rey, gusano morio o zophobas. En la industria son utilizadas como comida para mascotas; para alimentar a reptiles entre otras mascotas extrañas (como; artrópodos, aves o roedores), es importante no confundirlos con otras especies de larvas, que son del tipo *Tenebrio molitor*. Estos gusanos podrían llegar a medir entre 5 y 6 centímetros en su máximo tamaño y al comparar con los tenebrios, estos en el extremo de sus cuerpos son más oscuros ya tornándose a negro. Además, poseen seis patas diminutas y 2 pseudopatas rudimentarias.

Para Athanassiou (2021) indica que los primeros registros de investigación sobre *Zophobas morio* se remontan a las décadas de 1970 y 1980. Las especies de *Zophobas* son consumidas por varios grupos étnicos en México, mientras que *Zophobas morio* es una de las dos principales especies de insectos, junto con el grillo de campo, *Gryllus assimilis* (F.) (Orthoptera: Gryllidae), criados en cautiverio en Brasil, destinados únicamente a la alimentación animal. Gracias a esas investigaciones hoy en día podemos reducir la acumulación de plásticos en el suelo y en los océanos.

Figura 1

Zophobas morio



Nota: Ilustración de su fase larvaria y fase adulta (Athanassiou, 2021).

2.2.3.1 Taxonomía del *Zophobas morio*

En la página de BOTANICAL-ONLINE (2023), especifica la taxonomía de esta especie:

Tabla 1

Taxonomía

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

Nota. Taxonomía del insecto en investigación.

Valera (2022). Los colores de las larvas varían según su tipo de animal y según el entorno en donde viven, en algunos casos lo que les permite esconderse entre las ramas y/o hojas, además hay otras a las cuales, gracias a sus colores brillantes, pelos o

espinas con propiedades irritantes se pueden defender de sus predadores.

2.2.3.2 Ciclo de vida del gusano rey

De acuerdo con Roberto (2013) nos indica que mide aproximadamente de 5 a 6 cm de longitud, es la medida de estos invertebrados lo que los hace llamativos por su tamaño y movimiento. Gracias a su tamaño, son una excelente opción de alimento para los peces o reptiles mayores a 15 cm, con lo que se puede ofrecer de desayuno una vez cada 7 días. El tiempo de vida total de este gusano rey no pasa de los año y medio. Desde el cigoto hasta alcanzar su etapa adulta, desde el huevo hasta convertirse en escarabajo, experimenta por lo menos 10 mudas hasta alcanzar la etapa de pupa. "Al culminar mi crianza de ocho meses, observe que solo ha dado una crisálida o pupa de un tamaño notable".

Según la revista DON ZOPHOBA (2022) en Colombia menciona que la Zophoba morio es un escarabajo perteneciente a la familia coleópteros tenebriónidos, esta familia incluye varios tipos como el Tenebrio molitor y la Zophobas Morio de la cual te hablamos brevemente sobre su ciclo de vida, compuesto por 4 etapas: huevos, larva, pupa y escarabajo.

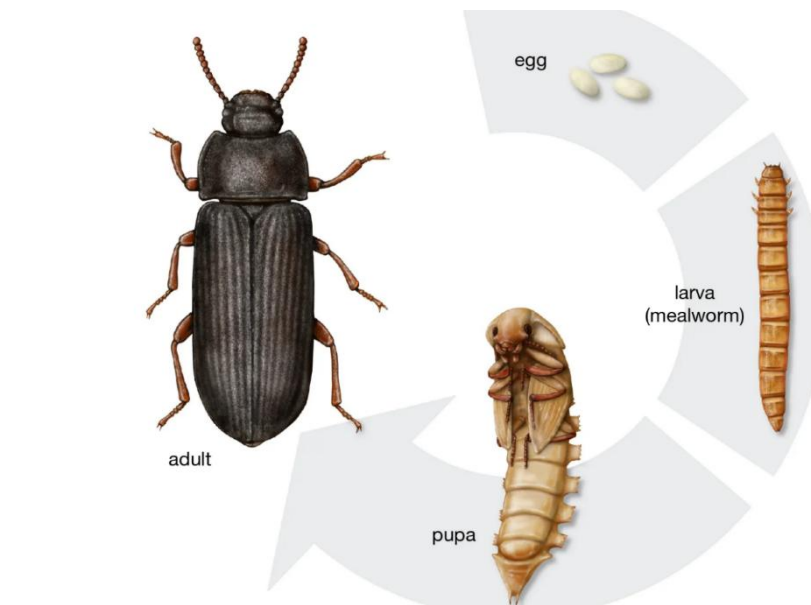
1. Huevos: Sus huevos suelen ser blancos, opta la forma de un frijol su eclosión es aproximadamente en seis días (Nava, 2023).
2. Larva: DON SOPHOBA (2022). Después de que el huevo eclosiona, la larva de *Zophobas Morio* sale y es de color marrón, con extremos más oscuros, casi negros. Esta larva destaca por ser una de las más grandes, pudiendo lograr medir hasta 6 centímetros de longitud. Tras 5 o 6 semanas de la fase inicial, se dedican a comer para crecer y engordar, pasando así a la fase tardía, donde continúan alimentándose. Podemos identificar esta fase por su tamaño, que puede

superar los 5 cm de longitud. Durante la fase tardía es cuando se utiliza la larva de *Zophobas Morio* como comida o carnada, dado que está completamente madura y tiene el tamaño esperado.

3. Pupa: Es la etapa más corta del desarrollo de los escarabajos, se observa un tamaño semejante al tenebrio ya adulto, por esta razón ya es recomendable mantener separadas a estas especies, ya que los *Zophobas* podrían quitarle la comida a los *Tenebrios* incluso estas podrían comerse a las larvas recientemente eclosionadas. Las Pupas se mantienen en esta etapa por dos a tres semanas, hasta alcanzar su etapa de escarabajo. (Roberto, 2013).
4. Escarabajo: Al momento de nacer se tornan de color blanco y con el pasar del tiempo van cambiando a tonalidades ocre y marrones al lapso que su exoesqueleto se va endureciendo, adquiriendo su color oscuro (mate negro) que es muy característico en los tenebriónidos, nombrados en inglés darkling beetles). Estos invertebrados pueden comenzar la reproducción en 14 días, y una semana después las hembras hacen sus puestas. Se estimas alrededor de 1500 huevos que son puestas por las hembras. En la cual estos huevos deben mantenerse en condiciones favorables, además un escarabajo de *Zophobas Morio* puede vivir hasta un año (SAMSA, 2017).

Figura 2

Fases de vida



Nota. Las 4 fases en el proceso de vida del *Zophobas morio* (SAMSA, 2017).

2.2.3.3 Alimentación del *Zophobas morio*

La recomendación para alimentar a los *Zophobas* es cambiar sus alimentos base cada siete días, así mantenerlos saludables, es importante no mezclar sus alimentos, por ejemplo, en caso de los *Zophobas* es mejor darles solo 1 alimento por siete días, lechugas la siguientes y pepino los siguientes siete días, y en el caso de los tenebrios se puede dar en conjunto zanahorias con pepino y pan. (Nava, 2023).

Alimentos de poliestireno

Citando a Rotola (2022) indicó que estos gusanos son suficientes para consumir poliestireno, un plástico flexible ampliamente utilizado para fabricar diversidades de productos para consumo como; tuberías, corchos, etc. Esto podría ser importante para el reciclado, ya que el gusano en sus intestinos posee enzimas bacterianas lo que les permite nutrirse y desintegrar este plástico flexible. Los investigadores mencionan que este grupo de larvas son similares a un tipo de plantas pequeñas de reciclaje, con capacidad de desintegrar este tipo de

materia plástica, en su cavidad oral pasando a los intestinos donde alberga bacterias que se alimentan de este material.

2.2.4 RESIDUOS SÓLIDOS

Desde el punto de vista de Sánchez (2020) los desechos pueden adoptar la forma de líquidos, gases o sólidos. El término "residuos sólidos" se aplica exclusivamente a los desechos en estado sólido, excluyendo aquellos en estado líquido y gaseoso. El término "residuo sólido urbano" se refiere a los desechos producidos estrictamente dentro de las áreas urbanas y sus alrededores. Estos desechos suelen generarse en hogares (casas, apartamentos, etc.), oficinas y mercados.

Según Castro (2021) las características físicas que presentan los desechos sólidos dependerán de su naturaleza:

- La humedad: Tiende a ser importante ya que este podría afectar la capacidad de comprimirse de los restos sólidos, la lixiviación podría ser producto de esto. Los lixiviados (son líquidos exudados provenientes de los sólidos).
- El peso específico: se refiere a la densidad de los desechos sólidos, afectando la forma en que se diseñan los contenedores y los medios de transporte, entre otras cosas. La madera tiene una densidad de 5 veces más que la del papel y cartón.
- La granulometría: Hace referencia al volumen y amplitud de las partes que lo componen aun a un resto sólido, así como a su capacidad de descomponerse o separarse. Esto también influye en la forma en que se manejan y procesan los residuos. (Castro, 2021).

2.2.4.1 Generación de residuos en el mundo

Según el informe se estima, que, en los posteriores años, la producción de desechos a nivel global ascenderá de 2010 millones de tn en 2016 a 3400 millones, impulsada por la

urbanización acelerada y la sobrepoblación. Aunque los países con ingresos superiores al resto están considerados en generación de desechos en un 16 % de la población total, son generadores de 1/3 (34 %) de los desechos en el mundo. El Pacífico y Asia oriental contribuyen con un aproximado de una cuarta parte (23%) de la totalidad. Además, se estima que en 2050 los generadores de desechos en Asia Meridional, África y Sahara SERA 3 veces o 2 veces con las creces respectivamente. (BANCO MUNDIAL, 2018).

Raza y Acosta (2022). En la actualidad, el rápido crecimiento urbano y poblacional está generando muchas cantidades de residuos, lo que ha llevado a muchas ciudades a desarrollar un plan de la gestión de los desechos sólidos, como parte fundamental, tanto por el volumen de desechos producidos en las regiones como por su repercusión ambiental. Según información recopilada de más de 300 regiones nivel mundial, se han observado que el porcentaje de desechos reciclados es de mayor cantidad en las regiones donde hay construcciones con planes para gestión de desechos sólidos.

2.2.4.2 Generación de residuos en el Perú

Como afirma SERVINDI (2022) por día en el Perú se produce una cantidad de 21 millones de toneladas de restos sólidos locales. Por persona al día al menos se produce un equivalente a 0.8 kilogramos (800 gramos) esto por 30 millones de habitantes. De ese total, solo más de la mitad de los 1% es recuperable, pero más de la mitad del total es desecho orgánico.

Según el MINAM (2018) solo un 60% de los residuos producidas por la población, llega a los 65 sanitarios autorizadas de las infraestructuras municipales para su eliminación final en basura. Y en promedio el 40% de todos los desechos llega a parar en las quebradas, ríos, lagos y mares o a los 1,600 sanitarios

ilegales donde al llegar estos restos no tienen ningún tipo de procesamiento.

En el Perú el punto más crítico de los RSM es en la ciudad de Chimbote, esta ciudad cuenta con una fosa sanitaria a cielo abierto, donde, la población cercana está expuesta a una fuente de transmisión de enfermedades por lo mismo que alberga animales carroñeros hospederos de estas enfermedades. Entre Coishco y Chimbote se encuentra el botadero de la municipalidad, con área de 16 hct, para depositar a diario 1 060,23 Toneladas (Serapio y Sánchez, 2018).

2.2.4.3 Problemas causados por los residuos sólidos

En el informe de Herrera (2023) menciona Algunos de los problemas principales que surgen a raíz de los desechos sólidos las cuales son los siguientes:

- Contaminación del suelo: La disposición inadecuada de los desechos pueden provocar contaminación en el suelo, lo cual dificulta para mantener la vida de las plantas y animales.
- Contaminación del agua: Los restos solidos son capaces de infiltrarse a través de la tierra y así intoxicar los ojos de nacimiento del agua, como ríos y acuíferos, lo que representa una amenaza en la salud de las personas y biodiversidad marina.
- Contaminación del aire: Cuando se queman los desechos, se liberan gases y pequeñas finas partículas aire, el cual aporta a la contaminación de la atmosfera y tiene una repercusión negativa para la calidad del aire que utilizamos en nuestra respiración.
- Daño a la vida silvestre: La administración incorrecta de los restos sólidos pone en peligro la vida silvestre, ya sea mediante su ingestión accidental del plástico o destruyendo su entorno natural. (Herrera, 2023).

Ecoduo (2023). Si no se dan el manejo adecuado y se separan correctamente, los desechos sólidos pueden presentar efectos extremadamente perjudiciales. Los desechos sólidos peligrosos pueden ocasionar explosiones, corrosión, toxicidad u otras reacciones peligrosas si a estas no se les procesa de forma adecuada, en consecuencia, la salud humana padece de los recursos naturales a consecuencia de los desechos sólidos. En efecto a estas situaciones, los más afectados o contaminados en el ambiente son los recursos naturales, donde mencionaremos los siguientes:

- Recurso hidráulico
- Recurso atmosférico
- Recurso suelo
- Recurso paisajístico

2.2.4.4 Efectos de los residuos sólidos en la salud

Los restos sólidos tienen consecuencias directas para la salud humana, dando lugar a diversas enfermedades y condiciones adversas, tales como:

- Enfermedades gastrointestinales: La existencia de residuos sólidos en el agua y los alimentos puede provocar generación de diversas enfermedades a causa de estas aguas, como el cólera e infección al estómago. (Herrera, 2023).
- Enfermedades respiratorias: La incineración de residuos emiten pequeñas partículas y gases tóxicos al aire, con ello crece la probabilidad de contraer más enfermedades a la respiración. (Ecología digital, 2023).
- Afecciones cutáneas: Los desechos contaminados al contactar con la persona, provocan irritaciones a la piel y muchas enfermedades cutáneas, como infecciones y dermatitis. (Ecología digital, 2023).
- Complicaciones en la reproducción: La exposición a sustancias químicas existentes en los restos sólidos influyen

para ser fértil y desarrollar el feto, incrementando el riesgo para reproducirse. (Herrera, 2023).

2.2.5 PLÁSTICO

Editorial equipo (2021). El plástico es una materia de origen orgánico con un peso molecular elevado, y se distingue por su capacidad maleable para adoptar una amplia variedad de formas. El término plástico es de procedencia griego plastikos, con significado moldeable.

Ondarse (2021). En su mayoría los plásticos son provenientes de petróleo, producidos a través de procesos de polimerización que generan grandes cadenas de átomos de carbono, resultando en una sustancia orgánica resistente al frío y maleable en caliente. Aparte de estos plásticos que son derivados de petróleo, existen los plásticos elaborados a partir de almidón, celulosa y ciertas bacterias. Este material es extremadamente versátil debido a su ligereza, tacto agradable y resistencia tanto a la degradación biológica como a la ambiental, aunque puede ser afectado por la exposición prolongada a rayos UV en algunos casos.

2.2.5.1 Composición química del plástico

ADMIN (2023). La estructura química de los plásticos se basa en la formación de polímeros, que consisten en largas cadenas de moléculas repetitivas de monómeros. Los plásticos se originan mediante reacciones químicas de polimerización. Los elementos de la composición del plástico son el hidrogeno y el carbono, los cuales se mezclan para crear los monómeros que posteriormente se unen entre sí para formar las cadenas de polímeros. Otros elementos, donde se incluyen al oxígeno, al nitrógeno y al cloro, que también pueden estar presentes en proporciones mínimas, esto dependerá del tipo de plástico.

2.2.5.2 Clasificación de los plásticos

Desde el punto de vista de Juste (2020) hay diversas maneras en la que fueron separadas los plásticos, hablemos de plásticos que llevan símbolos para reciclar con número. Refiere a códigos para reciclar, código para identificar la resinas o códigos para identificar de la Sociedad de Industrias de Plástico. Se presenta:

- HDPE (polietileno de alta densidad).
- PET o PETE (tereftalato de polietileno).
- PS (Poliestireno).
- PVC (policloruro de vinilo).
- LDPE (Polietileno de baja densidad).
- PP (Polipropileno).
- Otros plásticos.

2.2.5.3 Clasificación según su toxicidad

Según su grado de toxicidad, son los siguientes:

Policarbonato (PC)

De acuerdo con los estudios, este elemento produce efectos comparables a los del estrógeno y perturba el adecuado funcionamiento del sistema hormonal, ocasionando alteraciones celulares, impactando al SN, adelantando la pubertad y generando dificultades de comportamiento. Los niños, los bebés y los fetos son especialmente susceptibles a estos efectos, (Cinco noticias, 2020).

Policloruro de vinilo (PVC)

El (IARC), Centro Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer ha vinculado el cloruro de vinilo con el desarrollo de cáncer hepático, leucemia, tumores en el SNC y con el cáncer pulmonar. (Cinco noticias, 2020).

Poliestireno (PS)

Sin embargo, lo más recomendable es abstenerse de utilizarlo en contacto con la comida, ya que al desgradarse liberan sustancias altamente tóxicas contaminantes. La mejor opción para contribuir al cuidado del medio ambiente es evitar su uso. (Cinco noticias, 2020).

Polietileno tereftalato (PET)

Es aconsejable no volver a usar este tipo de botellas, ya que están diseñadas para un solo uso, al reutilizar hay una posibilidad de que se emitan pequeñas partículas plásticas y se acumulan bacterias en el interior. (Cinco noticias, 2020).

Polipropileno (PP)

Este plástico no contiene sustancias tóxicas y es adecuado para su uso en contacto con alimentos, además de ser inodoro. Es empleado en la elaboración de tapas de botellas, vasos plásticos y demás utensilios reutilizables, así como en la fabricación de juguetes, recipientes, parachoques para automóviles incluso las botellas. (Cinco noticias, 2020).

Polietileno de alta densidad (HDPE)

No contiene sustancias tóxicas y es seguro para el almacenamiento de alimentos. Sin embargo, se aconseja evitar calentar recipientes del tipo de plástico en el microondas, ya que solo soporta T° de hasta 60°C . Al superar esta T° , este objeto plástico emana partículas de plásticos. (Cinco noticias, 2020).

Polietileno de baja densidad (LDPE)

En cuanto a la resistencia térmica y química es alta, con capacidad de soportar 95°C en un tiempo corto. De este material se fabrican las bolsas de basura y compras, cosméticos, tubos,

envase de leche, film entre otros. Este polietileno de densidad baja no cuenta con toxicidad, sino que suele ser usado para alimentos con mucha seguridad. (Cinco noticias, 2020).

2.2.5.4 Clasificación según su origen

Ondarse (2021). Están los naturales y artificiales. Los naturales son los monómeros se derivan de fuentes de la naturaleza como la celulosa, el caucho y la caseína (una proteína de leche), como es el caso del celofán y la goma. Por otro lado, los plásticos artificiales se componen de monómeros provenientes de material sintética, derivadas de petróleo, como el plástico polietileno.

Otros tipos de plásticos

Juste (2020). Además de clasificar los plásticos por su origen, por su toxicidad o por su número de reciclaje previamente mencionada, existen otras formas de categorizarlos y una variedad más extensa de plásticos. Como ejemplo, se pueden distinguir de acuerdo con su tamaño ya sea macro o micro, también el tipo de plástico por su capacidad de degradación con seres vivos, independientemente si son reciclables o no en las infraestructuras de valorización de estos plásticos, mencionamos los siguientes:

- Bioplásticos
- Plásticos biodegradables
- Termoplásticos
- Plásticos termoestables
- Microplásticos

2.2.5.5 Materia prima del plástico

ADMIN (2023). Este material primario para fabricar plásticos consiste esencialmente en derivados del petróleo, así como el etileno y el propileno, que son hidrocarburos extraídos del

petróleo crudo mediante un proceso conocido como cracking. También se pueden emplear algunos derivados del gas natural, como el metano y el etano, en la producción de plásticos. Estos hidrocarburos se someten luego a una serie de transformaciones químicas para obtener los polímeros que constituyen la base del plástico. Estos polímeros pueden ser de diversas clases, como el polipropileno, el polietileno, el poliestireno y el policloruro de vinilo (PVC) entre otros.

2.2.5.6 Impacto del plástico en el ambiente

Rolleat (2022). La repercusión ambiental del plástico es muy perjudicial, sobre todo por su lenta descomposición y composición química. Los plásticos son uno de los causantes potenciales para contaminar, el cual es un desafío a solucionar actualmente. Además, la producción y la incineración de plásticos contribuyen significativamente al cambio climático.

UNAM (2020). En los últimos años, el daño que generó los usos de popotes y bolsas plásticas están causando a nuestro planeta. Esto se ve agravado por las advertencias de investigadores que pronostican que para 2050 en el océano existirán más plásticos que los peces, con una producción anual de al menos 500 000 millones de bolsas plásticas, y con un consumo de hasta 600 bolsas por familia al año en México.

2.2.5.7 Como afecta los residuos plásticos a la vida en los mares

NATIONAL GEOGRAPHIC (2023). Los mares son responsables de generar al menos la mitad del oxígeno en el planeta, contienen amplia biodiversidad en la tierra y es potencial proveedor de proteínas para más de 1000 millones de personas. Los efectos en la vida acuática componen daños químicos y físicos en los animales, impactos negativos a la biodiversidad y alteración del equilibrio del ecosistema. Por ejemplo, fueron descubiertos trozos de plásticos en el sistema digestivo de

numerosos seres vivos acuáticos, incluyendo casi todos los tipos de tortugas del mar y aproximadamente la mitad de los mamíferos del mar y aves. Según la ONU, la contaminación anual por plásticos causa más de cien mil animales en el mar.

Como peligros más frecuentes, las medusas flotantes, son confundidas con las bolsas por tortugas marinas, muriendo muy lento de inanición porque su estómago está lleno de desechos plásticos indigeribles. Este mismo sucede con las aves del mar, cuando pican los plásticos porque según ellos huelen y se parecen a sus alimentos. El programa de Naciones Unidas dice que un 90 % las aves del mar tienen bolsas plásticas en su sistema digestivo. (NATIONAL GEOGRAPHIC, 2023).

La República (2021). Los científicos examinaron 100 peces marinos de cinco especies diferentes (lorna, cabinza, borrachito, lisa y caballa) adquiridos durante el mes de enero y mes de febrero del año 2019 en el puerto pesquero de Villa María del Triunfo (Lima). Estas especies son de competencia económica ya que su comercialización es para consumo por las personas. Los investigadores encontraron micro plásticos (MP) en casi todos los ejemplares analizados, en diversas concentraciones. Este estudio realizado por científicos peruanos reveló la presencia de microplásticos en muestras de peces vendidos en los mercados de Lima, lo que plantea preocupaciones sobre el impacto a la salud en los animales marinos y posiblemente a la salud de las personas.

2.2.5.8 Las bolsas de plástico

UNAM (2020). Las bolsas plásticas son artículo comúnmente usados para llevar cantidades muy pequeñas de los productos. Fueron puestas al servicio en la década de los 60 y se volvieron muy populares, especialmente al ser distribuidas gratuitamente en los diferentes mercados, super mercados y demás tiendas. Además, es la forma común o habitual de

desechar los residuos domésticos y, mediante la inclusión de logotipos de marcas, representan una forma económica de promocionar para los establecimientos que ofrecen. Los envases o bolsas plásticas están hechas con:

Polietileno de baja densidad:

Envaseli (2018). Los polietilenos de densidad baja son polímeros termoplásticos de familia de los olefínicos, conformado por muchas unidades de etileno. Es muy frecuente llamarlo por las siglas español (PEBD, o polietileno de densidad baja). Como la diferencia más importante de plástico de alta y baja densidad es la densidad de moléculas de cada uno de ellos. En cambio, las moléculas de los plásticos de densidad alta tienen pocas ramificaciones, los plásticos de densidad baja tienen muchas ramificaciones el cual ello le da una densidad menor.

Polietileno de baja densidad lineal:

JUBEDI (2019). Este tipo de polietileno de densidad lineal muy baja, son polímeros con muchas ramificaciones pequeñas o cortas. Su nombre designado es de PEBDL (polietileno lineal de baja densidad).

polietileno de alta densidad

IBEROPLAST (2023). Este material es muy adecuado o están creadas para votar objetos punzantes, de formas muy irregulares o dentados.

Rojas (2023). El material de polietileno de densidad alta (HDPE) es un tipo de polímeros de termoplásticos que logró muchos cambios llegando hasta la automoción y la parte agraria. Estas bolsas son conocidos por ser resistible, dura y versátil, este tipo de material emergió después de una diversidad de utilidades que hizo.

Polipropileno

Valades (2020). El polipropileno (PP) tiene una estructura molecular resbaladiza, lo que resulta en un coeficiente de fricción relativamente alto. Además, en comparación con otros plásticos comunes, el polipropileno tiene una baja densidad. A temperatura ambiente, presenta una resistencia excepcional a los solventes orgánicos como las grasas, pero es susceptible a la oxidación a temperaturas más elevadas.

polímero de plástico no biodegradable

ROVI PACKAGING (2020). Esto es el caso de los plásticos no biodegradables no tienen un origen orgánico, lo que significa que no se descomponen naturalmente a través de procesos bacterianos. En lugar de eso, pueden permanecer sin biodegradarse durante mucho tiempo, ya que pasaría por un proceso de biodegradación natural. En lugar de eso, pueden permanecer sin descomponer durante un largo período de tiempo, ya que no siguen un proceso de descomposición natural.

2.2.5.9 Tiempo en degradar el plástico

Ropero (2020). El plástico, en realidad entre 100 y 1000 años tarda en degradarse un plástico, esto dependerá del tipo, en una media de 500 años:

1.0000 años es la cantidad de tiempo que la botella plástica de este tipo PET demoran descomponerse en su totalidad en la naturaleza.

En más de 150 años se puede tardar en descomponer una bolsa de plástico.

Según BBVA (2023), se requieren al menos 55 años para que una bolsa de plástico se degrade, mientras que una botella del mismo material puede tardar aproximadamente 500 años en

descomponerse. Estas cifras reflejan la enorme persistencia de los residuos plásticos en el ambiente y evidencian la magnitud del problema asociado a su producción y consumo masivo. El plástico, debido a su bajo costo, versatilidad y durabilidad, se ha convertido en uno de los materiales más utilizados a nivel mundial, especialmente en envases, embalajes y productos de un solo uso.

Según Sende (2020) la degradación de estos residuos tarda muchos años:

- Globos hechos de látex 6 meses
- Colillas de acetato de celulosa de 1 a 5 años
- Suelas de zapatos de LDPE, HDPE y PE lineal alrededor de 50 años
- Vasos desechables de plásticos hechos de poliestireno o polipropileno tardan 70 años
- Mecheros desechables con componente plástica tardan 100 años
- Hilo de pescar hecho de nylon tardan 600 años
- Botellas desechables hechas de polietileno tardan 500 años.

Figura 3

Tiempo de degradación de los residuos



Nota. tiempo en años para degradar los residuos en el suelo, desde un papel hasta un envase de vidrio (Sende, 2020).

2.2.6 BIODegradación DE PLÁSTICOS

Roldán (2023). La degradación de plásticos con insectos vivos implica la descomposición de los compuestos orgánicos de estos desechos a través de la acción de microorganismos. Este proceso, que es a corto plazo, permite aprovechar la descomposición de ciertos plásticos para obtener nutrientes y energía de manera de biomasa y otros tipos de elementos. Los plásticos que son descompuestos por microorganismos se conocen como plásticos biodegradables, en los cuales la descomposición se da mediante materia orgánica y minerales.

2.2.6.1 Plásticos biodegradables

Eco Inventos (2022). "En resumen, podemos identificar los siguientes tipos de plásticos que son biodegradables.

- Bioplásticos: Son hechos en parte o completamente con polímeros de origen orgánico las cuales pueden ser derivados de plantas o combinación de polímeros sintético. Es importante mencionar que no todos los bioplásticos son biodegradables.
- Bioplásticos: Originado de polímeros industriales
- Plásticos fotodegradables: Son aquellos plásticos con característica de degradación rápida, mencionados como plásticos convencionales.
- Foto-biodegradables: Este tipo de plásticos requieren de una oxo-degradación inicial para reaccionar a la luz ultravioleta.
- Plásticos hidro-biodegradables: Fabricados a base de restos vegetales, por ejemplo, el almidón se degrada inicialmente por hidrólisis.

2.2.6.2 Métodos para biodegradar el plástico

Es importante diferenciar la biodegradación primaria de la biodegradación secundaria:

- Biodegradación primaria: Roldán (2023), menciona que en este tipo de biodegradación se realiza la alteración de su estructura de las moléculas específicas del material plástico, a consecuencia de esto pierden sus propiedades físicas y químicas.
- Biodegradación secundaria o total (mineralización): Roldán (2023), Dice que en este tipo de biodegradación al metabolizarse todas las sustancias (químicas) son usados como alimento o abastecedor de energía y carbono para las larvas que están degradándolos. De esta forma, el plástico queda transformado completamente en compuestos inorgánicos.

2.2.6.3 Surgimiento de la biodegradación con larvas

Terra (2022). El hallazgo ocurrió cuando una científica encontró muchos gusanos que estaban haciendo hoyos en la bolsa plástica de desechos. La investigadora Bertocchini, del Centro de Investigaciones Biológicas (CIB-CSIC), descubrió estas larvas de cera en un panal de abejas y los puso en una bolsa de plástico. Al regresar, descubrió que los gusanos se habían escapado, lo que demostró que eran ellos los responsables de los huecos en la bolsa. Este hallazgo demostró que el plástico puede degradarse al exponerse a las enzimas presentes en la saliva de estos gusanos.

2.2.6.4 Biodegradación de plástico con larvas

Terra (2022). El plástico es uno de los elementos más relevantes en la contaminación a nivel global. A pesar de los esfuerzos humanos por encontrar alternativas que reduzcan este material, una investigación reciente ha revelado que para solucionar este problema está en las larvas. Investigadores han

descubierto que la saliva de las larvas de cera tiene la capacidad de descomponer y biodegradar las bolsas de plástico.

Willingham (2020). En 2017 se descubrió estas características de la larva, pero ahora los investigadores han adquirido un mayor entendimiento de cómo el gusano logra este proceso. Las bacterias de los intestinos degradan los plásticos, a cambio la oruga en sí puede desempeñar un papel fundamental en el proceso. Este descubrimiento podría llevar al desarrollo de un sistema efectivo de degradación para los restos plásticos.

Terra (2022). El animal en cuestión tiene en su saliva 2 tipos de enzimas capaces de descomponer el polietileno a T° ambiente. Este tipo de plástico constituye aproximadamente el 30% de la producción total y se encuentra presente en una gran variedad de materiales altamente contaminantes, los cuales son altamente resistentes a la descomposición.

Willingham (2020). En la actualidad los investigadores han logrado comprender mejor cómo los gusanos logran este proceso, y todo se centra en su microbioma o conjunto de bacterias intestinales. Hemos descubierto que los gusanos de la cera cuentan con microbios de intestinos que son fundamentales para el proceso de descomposición del plástico.

2.2.7 MECANISMO BIOQUÍMICO DE DEGRADACIÓN DE POLÍMEROS POR LAS LARVAS DE GALLERIA MELLONELLA

Las larvas de *Galleria mellonella* (polilla de la cera) han demostrado una capacidad única para degradar polímeros plásticos como el polietileno (PE) y el poliestireno (PS), lo cual ha despertado gran interés en biotecnología ambiental (Sanluis-Verdes et al., 2022).

2.2.7.1. Degradación enzimática directa mediante saliva

Se ha identificado que la saliva de estas larvas contiene proteínas del tipo hexamerina y arilforina familias relacionadas con hemocianinas y fenoloxidasas capaces de oxidar y despolimerizar el PE en condiciones ambientales benignas (temperatura ambiente, pH neutro) en cuestión de horas. Estas enzimas, denominadas Demetra, Ceres, y Cora, actúan incluso sin intervención microbiológica, con diferencias estructurales que sugieren funciones diversas (Spínola et al., 2023).

Se ha propuesto que estas enzimas inician la oxidación del polímero, introduciendo oxígeno en las cadenas de PE, lo que conduce a su fragmentación en compuestos más pequeños que luego pueden ser metabolizados por otros organismos o rutas bioquímicas (Sanluis et al., 2022).

Una vez oxidados, los polímeros sufren rupturas en sus cadenas, dando lugar a oligómeros y monómeros más accesibles a otros procesos biológicos. Estas moléculas de menor peso molecular se vuelven más solubles y reactivas, lo que facilita su posterior metabolización por microorganismos y enzimas digestivas (Sanluis et al., 2022).

2.2.7.2. Papel suplementario del microbioma intestinal

Aunque la saliva es suficiente para iniciar la degradación, estudios han mostrado que el microbioma intestinal de las larvas contribuye a la degradación posterior de fragmentos plásticos. La supresión del microbioma con antibióticos reduce la eficiencia de degradación, lo que evidencia un papel sinérgico entre enzimas larvarias y bacterias intestinales (Kong et al., 2019).

Entre las bacterias intestinales identificadas con capacidad degradadora se encuentran *Pseudomonas putida*, *Enterobacter hormaechei* y *Lysinibacillus fusiformis*. Estas cepas han demostrado capacidad de oxidar plásticos en condiciones de

laboratorio, confirmando su rol en la biotransformación de residuos poliméricos (Li et al., 2025).

2.2.7.3. Metabolismo endógeno de hidrocarburos largos

Estudios transcriptómicos y genómicos de *G. mellonella* han identificado genes que codifican carboxilesterasas, lipasas y enzimas del metabolismo de ácidos grasos, lo que sugiere que estas larvas poseen mecanismos metabólicos innatos para metabolizar hidrocarburos de cadena larga, similares a los presentes en la cera y los plásticos. Esto ocurre incluso en ausencia de microbiota intestinal, confirmando una capacidad endógena para la biotransformación de polímeros (Kong et al., 2019).

Los estudios indican que, incluso en ausencia de microbioma intestinal, las larvas mantienen una cierta capacidad de degradar compuestos plásticos. Esto evidencia la existencia de rutas bioquímicas propias, independientes del microbiota (Sanluis et al., 2022).

2.2.7.4. Aplicaciones biotecnológicas emergentes

La combinación de degradación enzimática directa (salival), metabolismo larvario y microbiota abre nuevas posibilidades para la biotecnología ambiental. Estas enzimas podrían utilizarse como alternativas o complementos a los métodos microbianos tradicionales, ya que permiten la oxidación de polímeros sin necesidad de pretratamiento y en condiciones moderadas (Spínola et al., 2023).

Sin embargo, aún existen limitaciones en la escalabilidad de este proceso, dado que la eficiencia de degradación en ambientes no controlados todavía es baja, y se requiere optimización para su aplicación práctica (Li et al., 2025).

2.2.7.5. Producto final de proceso bioquímico

El resultado final del proceso de degradación incluye la conversión de polímeros en ácidos orgánicos, alcoholes y dióxido de carbono. Estos productos son integrados en el metabolismo energético de la larva, lo que demuestra que el proceso no solo degrada los polímeros, sino que además contribuye a la obtención de energía para el insecto (Spínola et al., 2023).

2.2.8 PROYECCIONES FUTURAS Y VIABILIDAD ECONÓMICA DEL SISTEMA DE DEGRADACIÓN DE PLÁSTICOS CON LARVAS

Según Rodríguez y colaboradores (2021), quedó demostrado que los gusanos de los insectos pueden consumir poliestireno expandido (PE) y poliestireno (PS), y existen indicios de que este tipo de tratamiento biológico puede descomponer e incluso mineralizar estos materiales. Sin embargo, a pesar de la existencia de estudios prometedores, todavía se debate el tema de si es viable técnica y económicamente, como también el impacto al ambiente a largo plazo de implementar estas estrategias en escala de magnitud mayor. Este debate se centra en: La constatación discordante sobre la biotransformación del PE, la limitada habilidad de las larvas para crecer de forma adecuada al alimentarse precisamente de polímeros plásticos y la escasa calidad añadida de los subproductos restantes de la descomposición del PE y el PS. (Rodríguez, et al. 2021).

2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES

2.3.1 DEGRADABLES

Es consideradogradable si el material tiene la capacidad de descomposición. Desde el punto de vista técnico, tanto los plásticos convencionales como los bioplásticos son degradables. Sin embargo, los bioplásticos se descomponen en innumerables micro plásticos, pero nunca experimentan un proceso de biodegradación. Los bioplásticos

tanto como los pasticos tradicionales cuentan como principal diferencia física que este último no se puede descomponer con facilidad, aunque si se pueden descomponer si se le pone al contacto con la luz ultravioleta. (Piensaeco, 2022).

2.3.2 BIODegradable

La descomposición de los materiales biodegradables es descompuesta en su totalidad en dióxido de carbono, en agua o compost la palabra “Biodegradable” generalmente sugiere que la desintegración ocurre en un corto periodo de tiempo, como podría ser en unas semanas o meses. Por otro lado, la mayoría de los plásticos son altamente resistentes y no se descomponen, por ende, so son consideradas biodegradables (Piensaeco, 2022).

2.3.3 LARVA

Se define al animal que se encuentra en estado de desarrollo, cuando recién abandonó el capullo del huevo y estos son capaces de nutrirse o alimentarse por sí mismo. Estos animales aún se encuentran en evolución para poder tener la forma propia de los adultos de su especie (MINAM, 2017).

2.3.4 MORTALIDAD

Se refiere a la cantidad de muertes sucedidas dentro de una población. Este término nos hace referencia a las inesperadas muertes por una causa cualquiera. En términos estadísticos, esto viene hacer referencia a la medida de cantidad del total de muertes en un grupo específico de una población (Pérez y Merino, 2021).

2.3.5 POLIETILENO

También es conocido con su abreviatura (PE) o polimetileno que hace referencia al más simple de los polímeros visto del punto químico, se encuentra compuesto de átomos que contiene carbón e hidrógeno. Es uno de los materiales de plástico de fabricación económica y el más simple para su venta al mercado (Rhoton, 2023).

2.3.6 PLÁSTICO DE ALTA DENSIDAD

En su trabajo de investigación Roldán (2023) define a los termoplástico por su durabilidad y versatilidad, caracterizado por su gran rigidez y resistencia. Principalmente esto se encuentran en los envases para muchos productos, como por ejemplo galones de petróleo. También se encuentran en la elaboración electromagnéticas, muebles e incluso se adapta a la rama de la construcción.

2.3.7 PLÁSTICO DE BAJA DENSIDAD

También conocido como polietileno de baja densidad, se lo llama así a un tipo de plástico que generalmente son transparentes o translúcidos, es caracterizado por su flexibilidad, tiene una capacidad de resistir sustancias químicas y su habilidad para impermeabilizar ADMIN (2023).

2.3.8 PLÁSTICO DE BAJA DENSIDAD LINEAL

Se define al polímero que contiene aquellas sustancias lineales (polietileno) con una cantidad de ramificaciones cortas, que principalmente se encuentran hechas por copolimerización de etileno con cadenas largas de olefinas (Roldán, 2023).

2.3.9 EFICACIA

Es la habilidad de lograr el cometido en un resultado deseado después de haber realizado el proceso en la acción. Se trata del uso de manera eficiente de los recursos que están en alcance y en el tiempo para lograr un objetivo especial (Pérez y Merino, 2021).

2.4. HIPÓTESIS

2.4.1. HIPÓTESIS GENERAL

Hi: Existe diferencia en la eficacia degradativa de la larva *Zophobas morio* en la biodegradación de bolsas de plástico de alta densidad, baja densidad y baja densidad lineal.

Ho: No existe diferencia en la eficacia degradativa de la larva *Zophobas morio* en la biodegradación de bolsas de plástico de alta densidad, baja densidad y baja densidad lineal.

2.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICA

Hi1: Existen diferencias significativas en la eficacia de biodegradación de bolsas de plástico de alta densidad en su masa al finalizar el proceso.

Ho1: No existen diferencias significativas en la eficacia de biodegradación de bolsas de plástico de alta densidad en su masa al finalizar el proceso.

Hi2: Existen diferencias significativas en la eficacia de biodegradación de baja densidad en su masa al finalizar el proceso.

Ho2: No existen diferencias significativas en la eficacia de biodegradación de baja densidad en su masa al finalizar el proceso.

Hi3: Existen diferencias significativas en la eficacia de biodegradación de baja densidad lineal en su masa al finalizar el proceso.

Ho3: No existen diferencias significativas en la eficacia de biodegradación de baja densidad lineal en su masa al finalizar el proceso.

2.5. VARIABLES

2.5.1. VARIABLE DE DEPENDIENTE

Eficacia degradativa.

2.5.2. VARIABLE INDEPENDIENTE

Biodegradación de bolsas de plástico.

2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

“La eficacia de las larvas *Zophobas morio* en la biodegradación de bolsas de plástico de alta densidad, y baja densidad Huánuco - 2024”

Tesista: Solis Falcón, Walter Jesus

Tabla 2

Operacionalización de variables

Variable dependiente	Indicador	Valor final	Tipo de variable
Eficacia degradativa.	Especie de larva	<i>Zophobas morio</i>	Nominal dicotómica
Variable independiente	Indicador	Unidad de medición	Tipo de variable
Biodegradación de bolsas de plástico.	Parámetros físicos:	Parámetros físicos:	Parámetros físicos:
	-Masa biodegradada inicial -Masa biodegradada final	- g - g	- Numérica continua - Numérica continua
Variable de caracterización	Indicador	Unidad de medida	Tipo de variable
Parámetros en el proceso	Parámetros de seguimiento	Parámetros de seguimiento	Parámetros de seguimiento
	-Comportamiento de las larvas -Color de las bolsas	- Aceptabilidad de alimento - Escala de color	- Categórica nominal - Categórica ordinal

CAPÍTULO III

MÉTODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Supo y Zacarías (2020), Indica de los tipos de investigación están clasificados en 4 criterios, las cuales fueron tomados en cuenta para el desarrollo del estudio:

1. En este criterio según la intervención del investigador, fue considerado **con intervención**, porque en este estudio experimental lo que se hizo es comparar la variable de calibración sobre la variable de evaluación.
2. En este criterio según el número de mediciones de la variable de estudio, se consideró **longitudinal**, porque este estudio comprendió dos mediciones, la primera que es el pretest y la segunda el post test, en efecto a ello se contó con datos iniciales y datos finales.
3. En este criterio según el número de variables analíticas, se consideró **analítico**, porque mi estudio fue trabajado con dos variables analíticas.
4. En este criterio según la planificación de las mediciones, se consideró **prospectivo**, porque el trabajo se realizó con datos primarios, es decir que la recolección de los datos realizó el tesista durante la ejecución.

3.1.1. ENFOQUE

Los tipos de enfoque son tres: Cuantitativo, cualitativo y mixto. Porque son más adecuados y aceptados para un estudio.

Esta investigación presentó un enfoque cuantitativo, porque se usó la prueba de hipótesis y herramientas estadísticas. La demostración de esta hipótesis fue deductivo, secuencial, probatorio y analítico para generar resultados. (Hernández, *et al.*, 2014).

3.1.2. ALCANCE O NIVEL

Según: Supo y Zacarías (2020), el nivel de la investigación cuantitativa comprende los siguientes: aplicativo, predictivo, explicativo, relacional, descriptivo y exploratorio.

Esta investigación se encuentra en el nivel aplicativo, porque se buscó comparar, demostrar el procedimiento y controles que se requiere, ya que la intención en efecto demostrará la capacidad del *Zophobas morio* (variable de dependiente) en la degradación de 3 tipos de plástico (variable independiente). (Supo y Zacarías, 2020).

3.1.3. DISEÑO

El diseño en una investigación consta de 3 experimentos: El pre-experimento, cuasi experimento y experimento verdadero. El experimento verdadero, está compuesto de más de un grupo a experimentar y más de dos observaciones.

La investigación propuesta tuvo un diseño de experimento verdadero, se trabajó con tres grupos experimentales con diferente variable independiente y misma variable dependiente, con observaciones que fueron intervenidos antes y durante de la ejecución. (Supo y Zacarías, 2020).

En este esquema se presentó el diseño del experimento verdadero que siguió la ejecución de la investigación.

G. Exp₁: O₁ - I₁ - O₂, O₃, O₄, O₅

G. Exp₂: O₁ - I₂ - O₂, O₃, O₄, O₅

G. Exp₃: O₁ - I₃ - O₂, O₃, O₄, O₅

G. Exp₁: Grupo experimental 1

G. Exp₂: Grupo experimental 2

G. Exp₃: Grupo experimental 3

O₁: Observación 1

O₂: Observación 2

- O₃:** Observación 3
- O₄:** Observación 4
- O₅:** Observación 5
- I₁:** Intervención del *Zophobas morio* en plástico de alta densidad
- I₂:** Intervención del *Zophobas morio* en plástico de baja densidad
- I₃:** Intervención del *Zophobas morio* en plástico de baja densidad lineal

Figura 4
Diseño de la distribución

PLÁSTICO DE ALTA DENSIDAD	PLÁSTICO DE BAJA DENSIDAD	PLÁSTICO DE BAJA DENSIDAD LINEAL
R1.AD R2.AD R3.AD R4.AD R5.AD	R1.BD R2.BD R3.BD R4.BD R5.BD	R1.BDL R2.BDL R3.BDL R4.BDL R5.BDL
R1: Tratamiento 1. AD R2: Tratamiento 2. AD R3: Tratamiento 3. AD R4: Tratamiento 4. AD R5: Tratamiento 5. AD	R1: Tratamiento 1. BD R2: Tratamiento 2. BD R3: Tratamiento 3. BD R4: Tratamiento 4. BD R5: Tratamiento 5. BD	R1: Tratamiento 1. BDL R2: Tratamiento 2. BDL R3: Tratamiento 3. BDL R4: Tratamiento 4. BDL R5: Tratamiento 5. BDL

Nota: distribución de cada grupo experimental con 5 tratamientos cada uno.

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

Población

La población en esta investigación fueron los desechos sólidos producidos en la ciudad de Huánuco. La cantidad precisa de este tipo de residuos se desconoce.

Muestra

La muestra de este estudio fue, 20 gramos de plástico para cada unidad de tratamiento, ya que serán 3 grupos experimentales con 5 tratamientos cada uno. El total de la muestra por cada grupo fue de 100 gramos y en los 3 grupos experimentales de 300 gramos de plásticos.

Tabla 3

Coordenadas UTM WGS-84 de la ejecución

Coordenadas UTM	
Posición	18 L
Este	-9.937381425025594,
Norte	76.2557692928093

Nota: Coordenadas UTM del lugar de estudio.

Tabla 4

Circunscripción temporal de la investigación

Circunscripción Temporal	
Fecha inicio	Febrero
Fecha final	Abril
Año	2025

Nota: Circunscripción temporal

3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS.

3.3.1. Para la recolección de datos

Tabla 5

Datos recolectados

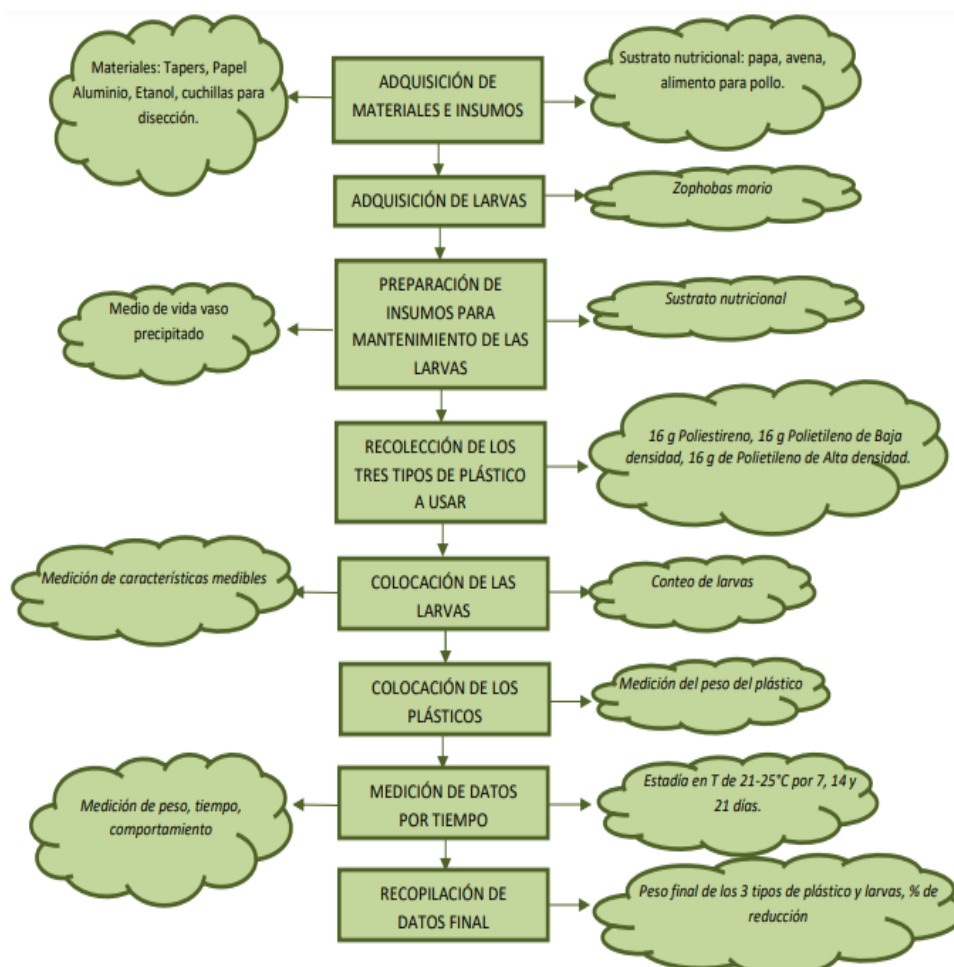
VARIABLE EVALUATIVA	INDICADORES	TÉCNICA	INSTRUMENTO/RECURSOS
Biodegradación de bolsas de plástico	Parámetros físicos: - Masa inicial y final	Observación	Parámetros físicos: - Balanza
VARIABLE CARACTERIZACIÓN	INDICADORES	TÉCNICA	INSTRUMENTO/RECURSOS
Parámetros en el proceso	Parámetros de seguimiento: - Comportamiento de larvas - Color de las bolsas	Observación	Parámetros de seguimiento: - Observación visual - Observación visual

Nota: Indicadores e instrumentos para el control durante la ejecución.

Figura 5

Según Chávez y Riofrio (2019), en su proyecto de investigación desarrollada, siguió estos procesos. En la tesis que fue ejecutado por Rivera (2023), se desarrolló los siguientes pasos:

Diagrama del flujo de procedimiento de ejecución de tesis de Chávez y Riofrio (2019).



Nota: Esquema de la ejecución del proyecto de investigación desarrollada.

3.3.2. PROTOCOLO DE DESARROLLO DEL ESTUDIO

Adquisición de larvas:

Estas larvas fueron pedidos de la ciudad de Lima, porque en la ciudad donde fue ejecutado el proyecto no se realizan estos cultivos, el traslado desde la capital se realizó cumpliendo todas las medidas de seguridad que requiere.

Adquisición de plásticos:

Para realizar el trabajo se usó tres tipos de bolsas plásticas uno de ellos la de alta densidad, la de baja densidad y baja densidad lineal. Estas bolsas fueron recicladas en casa, el cual, como plástico de alta densidad representado con la bolsa negra de basura, el plástico de baja densidad figurado por la bolsa blanca de mercado y el plástico de baja densidad lineal

representado por la bolsa transparente film, todo esto se obtuvo del uso diario la cantidad necesaria.

Adquisición de recipientes:

- Se dispusieron en total 15 envases de plástico con las dimensiones siguientes: 10 cm de longitud, 10 cm de anchura y 12 cm de altura.
- La distribución fue de 5 recipientes por cada grupo experimental.

Distribución de las unidades experimentales (*Zophobas morio*):

- La cantidad total de individuos que fue usado en la fase de ejecución en los tres grupos experimentales son de 1500 larvas.
- En cada unidad de tratamiento fueron utilizados 100 unidades de larvas.
- En efecto, por cada grupo de tratamiento se dispuso 500 unidades de larvas, cada grupo de tratamiento contiene 5 unidades a tratar.

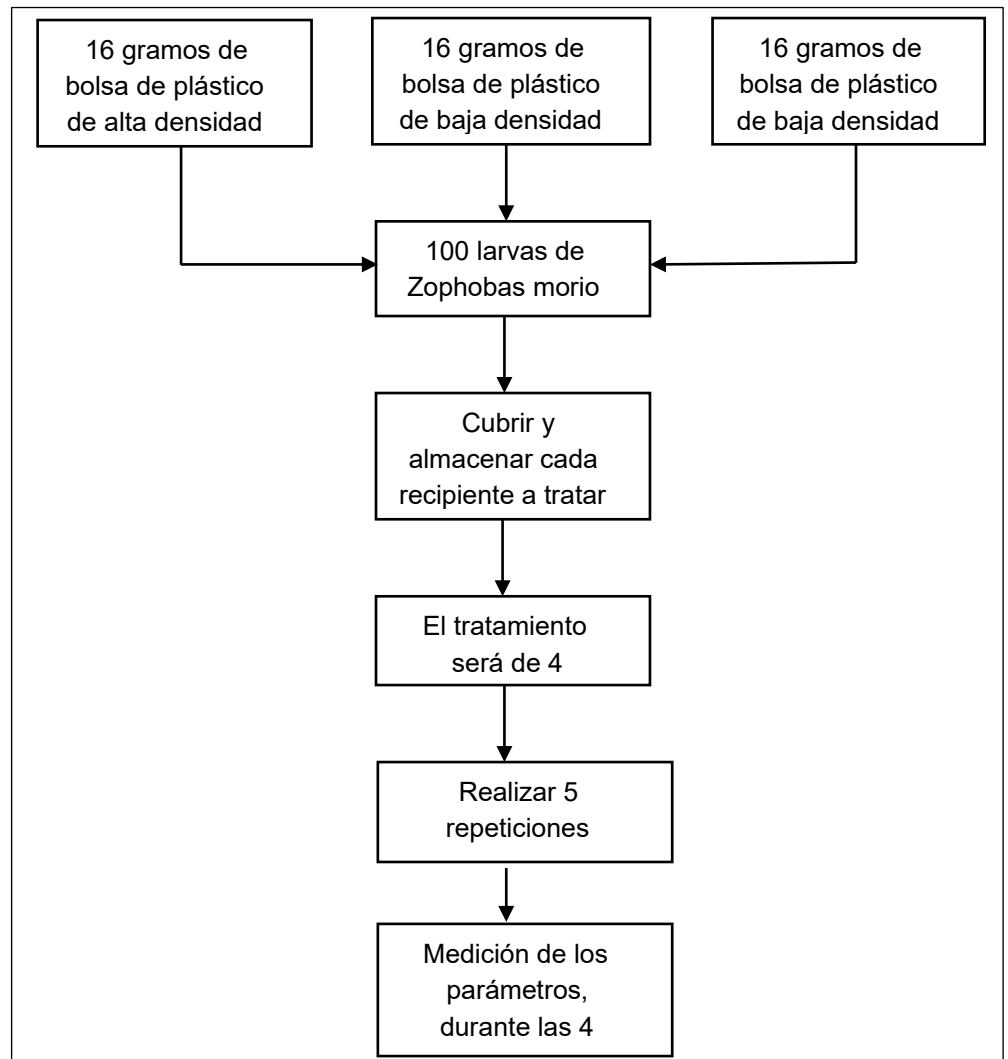
Distribución de las unidades experimentales (Bolsas de plásticos):

- La cantidad total de gramos que se usó fue de 300, considerado la bolsa de baja densidad Lineal, de baja densidad y de alta densidad.
- En cada unidad de tratamiento se trabajó con 16 gramos de plástico.
- Por cada grupo de tratamiento a experimentar, fue de 100 gramos de plásticos, el cual cada grupo consta de 5 unidades de tratamiento.

Procedimientos para seguir:

Figura 6

Diagrama de flujo del proyecto



Nota: Esquema para ejecutar el proyecto. Elaboración propia.

1. Se designó 5 recipientes para cada grupo experimental, procedió a etiquetado con los datos en cada uno de los recipientes.
2. Se añadió 20 gamos de plásticos de alta densidad en cada uno de los 5 recipientes, 20 gramos de plástico de baja densidad en cada uno de los 5 recipientes y 20 gramos de plástico de baja densidad lineal en cada uno de los 5 recipientes.
3. Se introdujo 100 larvas de *Zophobas morio* en cada unidad de tratamiento (en los 15 recipientes).

4. Luego se cubrió cada envase con un mantel y asegurar con una liga sujetador para que no ingresen agentes extraños y pueden alterar el desarrollo de la investigación.
5. Estas unidades para tratar fueron almacenadas en una caja procurando que no moleste ninguna fuente de luz.
6. Se dejó reposar durante 4 semanas, con observaciones semanales para tomar datos que requiere el estudio.

3.3.3. Para la presentación de datos

Los datos recolectados durante las 4 semanas de ejecución fueron presentados mediante tablas estadísticas y gráficos con su explicación, para que las conclusiones y discusiones tengan la mayor exactitud.

3.4. TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.

La exploración de todos los datos recolectados durante el proceso de ejecución se realizó en el software estadístico SPSS versión 26

Después de analizar todos los comportamientos de los datos, mediante el programa mencionado se llegó a una conclusión exacta partiendo de la hipótesis planteada, por lo que el objetivo del proyecto fue esa.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1. RESULTADOS DESCRIPTIVOS

Tabla 6

masa de plástico consumido por las larvas a partir de una masa inicial de 20.0 gramos de plástico

MASA INICIAL		MASA CONSUMIDA		
R	gramos	HDPE_masa (gramos)	LDPE_masa (gramos)	LLDPE_masa (gramos)
R1	20	13,2	5,3	3,6
R2	20	14,7	6,1	4,5
R3	20	12,6	7	3,1
R4	20	15,3	4,9	4,8
R5	20	13,8	6,7	3,9
$\bar{X}$		13.92	6.0	3.98

Nota: Se muestran los datos de campo de masa del grupo HDPE, LDPE y LLDPE por cada tratamiento y la mediana de masa consumida por cada tipo de plástico.

Tabla 7

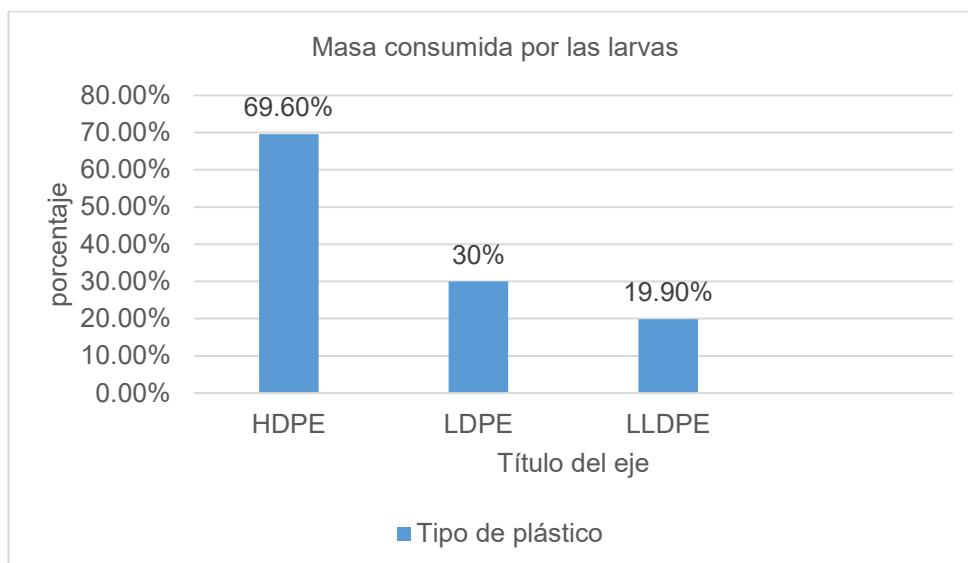
Datos de masa inicial y final de plástico de los tres grupos

MASA INICIAL Y FINAL DE PLASTICO						
Repetición	HDPE_masa a inicial-gramos	HDPE_masa a final-gramos	LDPE_masa inicial-gramos	LDPE_masa final-gramos	LLDPE_masa a inicial-gramos	LLDPE_masa a final-gramos
R1	20	6,8	20	14,7	20	16,4
R2	20	5,3	20	13,9	20	15,5
R3	20	7,4	20	13	20	16,9
R4	20	4,7	20	15,1	20	15,2
R5	20		20		20	
		6,2		13,3		16,1

Nota: Se presentan los valores de la masa inicial y final de plástico para cada tipo de plástico. La figura ilustra el comportamiento observado de plástico sobrante al final del proceso en cada grupo.

Figura 7

Masa consumida por las larvas en porcentajes (%).



Nota: Se presentan los valores de la masa consumida en porcentaje a partir de 20 gramos que es un 100%.

Tabla 8

Estadístico descriptivo de la masa final de plástico HDPE

Estadísticos descriptivos					
	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. Desviación
HDPE_masa	5	4,70	7,40	6,0800	1,09407
N válido (por lista)	5				

Nota. Los datos fueron procesados utilizando el software estadístico SPSS versión 26. La tabla presentada muestra los valores finales de las variables analizadas, incluyendo los valores mínimos, máximos, la media y la desviación estándar correspondientes a la masa final del plástico de alta densidad.

Tabla 9

Estadístico descriptivo de la masa final de plástico LDPE

Estadísticos descriptivos					
	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. Desviación
LDPE_masa	5	13,00	15,10	14,0000	0,89443
N válido (por lista)	5				

Nota. Los datos del experimento fueron analizados con el software estadístico SPSS versión 26 mediante un análisis descriptivo. La tabla resultante presenta las mediciones de la masa final del plástico de baja densidad lineal, incluyendo valores mínimos, máximos, media y desviación estándar. Estos estadísticos permiten describir la tendencia central, la dispersión

de los datos y la consistencia entre las muestras, sirviendo como base para la interpretación y conclusiones del estudio..

Tabla 10

Estadístico descriptivo de la masa final de plástico LLDPE

Estadísticos descriptivos					
	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. Desviación
LLDPE_masa	5	15,20	16,90	16,0200	0,68337
N válido (por lista)	5				

Nota: Los datos obtenidos en el experimento fueron procesados utilizando el software estadístico IBM SPSS Statistics, versión 26, lo que permitió realizar un análisis riguroso de la información recopilada. La tabla presentada muestra los valores finales de las variables analizadas, en este caso la masa final del plástico de baja densidad lineal. En ella se incluyen los valores mínimos y máximos registrados, así como la media aritmética y la desviación estándar correspondiente a cada variable. Estos indicadores estadísticos permiten describir de manera precisa el comportamiento de los datos, evidenciando tanto la tendencia central como el grado de dispersión de los resultados. Este análisis proporciona una base sólida para interpretar los fenómenos observados, evaluar la variabilidad entre las muestras y detectar posibles valores atípicos, asegurando así la validez y fiabilidad del estudio.

4.2. RESULTADOS INFERENCIALES

Tabla 11

Prueba de normalidad para cada grupo en cuanto a la masa

Pruebas de normalidad						
TIPO_PLASTICO		Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk	
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	Sig.
MASA_gr	HDPE	0,162	5	,200*	0,971	0,884
	LDPE	0,183	5	,200*	0,939	0,660
	LLDPE	0,177	5	,200*	0,971	0,885

Nota: Se muestran los p-valor para el estadístico Shapiro Wilk referente a la prueba de normalidad del conjunto de datos de la masa de plástico descompuesto en los 3 tipos de análisis, cada valor es superior a 0.05, por ello podemos aceptar la distribución normal y proceder con la prueba de homogeneidad de varianzas.

Tabla 12

Prueba de homogeneidad de varianzas para cada grupo en cuanto a la masa

Prueba de homogeneidad de varianza					
		Estadístico de			
		Levene	gl1	gl2	Sig.
MASA_gr	Se basa en la media	0,774	2	12	0,483
	Se basa en la mediana	0,576	2	12	0,577
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	0,576	2	10,584	0,579
	Se basa en la media recortada	0,764	2	12	0,487

Nota: Se muestran los p-valor para el Estadístico de Levene, referente a la prueba de Homogeneidad de Varianzas del conjunto de datos de la masa de plástico descompuesto en los 3 tipos de análisis, cada valor es superior a 0.05, por ello podemos aceptar la homogeneidad de varianzas y proceder con la aplicación de pruebas paramétricas.

Tabla 13

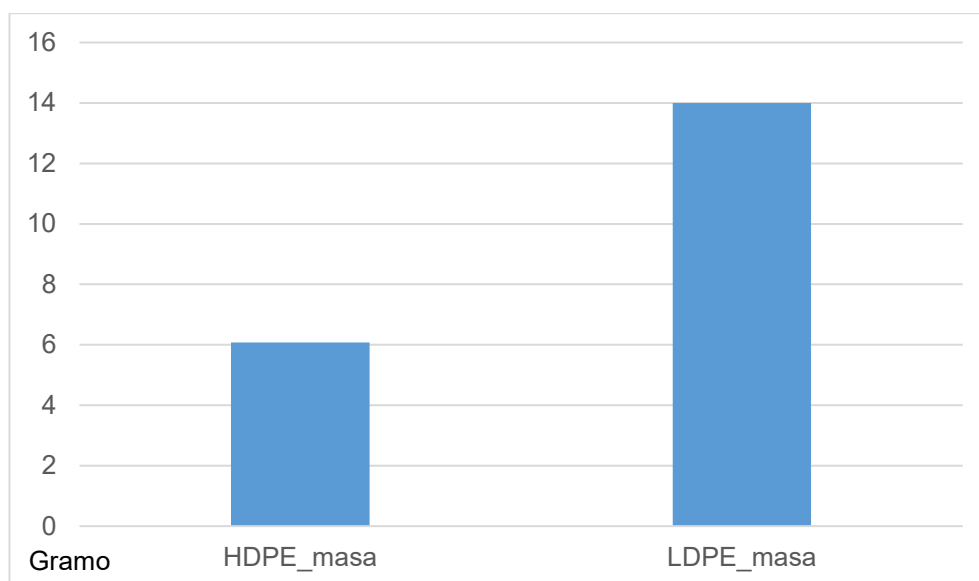
Prueba Estadística de la masa final con ANOVA para muestras independientes en el par de HDPE y LDPE

ANOVA						
MASA_gr	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.	
Entre grupos	156,816	1	156,816	157,052	0,000	
Dentro de grupos	7,988	8	0,999			
Total	164,804	9				

Nota: En la comparación de masas finales de descomposición de plástico en el par HDPE y LDPE, se muestra el p-valor para el Estadístico ANOVA para muestras independientes, el cual es menor a 0.05, lo que acepta una diferencia significativa entre las masas finales en ambos grupos.

Figura 8

Masa final del par HDPE y LDPE



Nota: En la comparación de masas finales de descomposición de plástico según las medias, se observa una mayor descomposición en el grupo HDPE a comparación del grupo LDPE. En comparación de la masa inicial que fue de 20 gramos para ambos, el plástico HDPE redujo en un 13.92 gramos y el LDPE en un 6 gramo.

Tabla 14

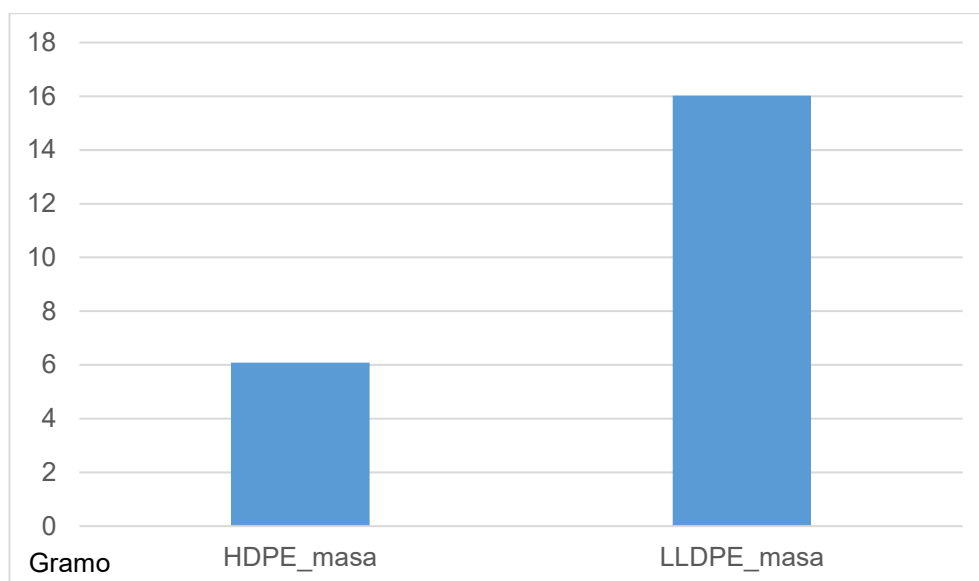
Prueba Estadística de la masa final con ANOVA para muestras independientes en el par de HDPE y LLDPE

ANOVA					
MASA_gr	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	247,009	1	247,009	296,886	0,000
Dentro de grupos	6,656	8	0,832		
Total	253,665	9			

Nota: En la comparación de masas finales de descomposición de plástico en el par HDPE y LLDPE, se muestra el p-valor para el Estadístico ANOVA para muestras independientes, el cual es menor a 0.05, lo que acepta una diferencia significativa entre las masas finales en ambos grupos.

Figura 9

Masa final del par HDPE y LLDPE



Nota: En la comparación de masas finales de descomposición de plástico según las medias, se observa una mayor descomposición en el grupo HDPE a comparación del grupo LLDPE. En comparación de la masa inicial que fue de 20 gramos para ambos, el plástico HDPE redujo en un 13.92 gramos y el LLDPE en un 3.98 gramos.

Tabla 15

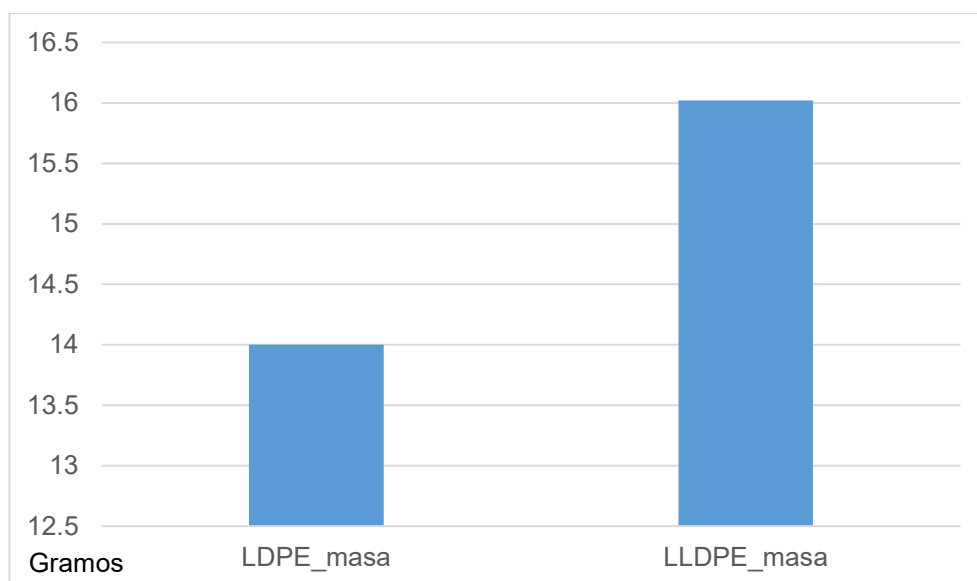
Prueba Estadística de la masa final con ANOVA para muestras independientes en el par de LDPE y LLDPE

ANOVA					
MASA_gr	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	10,201	1	10,201	16,103	0,004
Dentro de grupos	5,068	8	0,634		
Total	15,269	9			

Nota: En la comparación de masas finales de descomposición de plástico en el par LDPE y LLDPE, se muestra el p-valor para el Estadístico ANOVA para muestras independientes, el cual es menor a 0.05, lo que acepta una diferencia significativa entre las masas finales en ambos grupos.

Figura 10

Masa final del par LDPE y LLDPE



Nota: En la comparación de masas finales de descomposición de plástico según las medias, se observa una mayor descomposición en el grupo LDPE a comparación del grupo LLDPE. En comparación de la masa inicial que fue de 20 gramos para ambos, el plástico LDPE redujo en un 6 gramo y el LLDPE en un 3.98 gramos.

Tabla 16

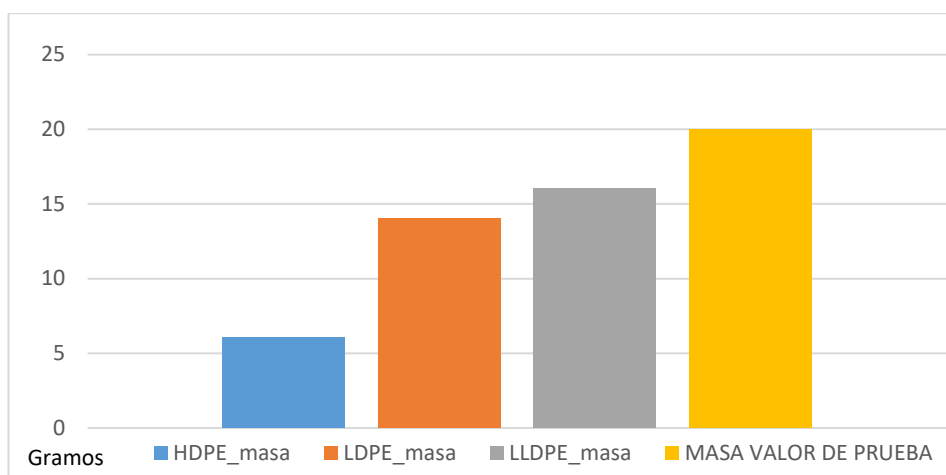
Prueba Estadística de la masa final con ANOVA para una muestra en los grupos HDPE, LDPE y LLDPE

Prueba para una muestra						
Valor de prueba = 20						
	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
					Inferior	Superior
HDPE_masa	-28,450	4	0,000	-13,92000	-15,2785	12,5615
LDPE_masa	-15,000	4	0,000	-6,00000	-7,1106	-4,8894
LLDPE_masa	-13,023	4	0,000	-3,98000	-4,8285	-3,1315

Nota: Se muestran los p-valor de la prueba estadística ANOVA para una muestra, para cada grupo, se puede observar que todos los valores son menores a 0.05, por lo tanto, existe diferencia entre la masa final de los 3 tipos de plástico y la masa inicial de 20 gr en todos los grupos.

Figura 11

Masa final y valor de prueba en los grupos HDPE, LDPE y LLDPE



Nota: Se muestra que *Zophobas morio* es eficaz en la reducción de masa de plásticos, especialmente en HDPE, donde se obtuvo una masa final promedio de 6.08 g a partir de 20 g iniciales, lo que representa una reducción del 69.6%. En el caso del LDPE, la masa final promedio fue de 14 g, equivalente a una reducción del 30%. Para el LLDPE, se registró una masa final promedio de 16.02 g, lo que representa una disminución del 19.9% respecto al peso inicial.

4.3. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS

4.3.1. HIPÓTESIS GENERAL

Hipótesis alterna: Existe diferencia en la eficacia degradativa de la larva *Zophobas morio* en la biodegradación de bolsas de plástico de alta densidad, baja densidad y baja densidad lineal.

Nivel de confianza: de 95% el cual representa la probabilidad de aceptación de la hipótesis alterna, en cambio el p-valor mayor al 0,05 brinda aceptación automática a la hipótesis nula.

Estadístico de prueba: ANOVA.

Como se puede observar en la Tabla 13, la comparación de la masa final descompuesta entre el plástico de alta densidad (HDPE) y el de baja densidad (LDPE) arrojó un valor p menor a 0.05, lo que indica la existencia de una diferencia estadísticamente significativa entre ambos grupos. **Quiere decir:** En la comparación de este par considerando el nivel de significancia, si existe diferencia en la eficacia degradativa de la larva *Zophobas morio* en la biodegradación de bolsas de plástico de alta densidad y baja densidad.

Como se puede observar en la Tabla 14, la comparación de la masa final descompuesta entre el plástico de alta densidad (HDPE) y el de baja densidad lineal (LLDPE) arrojó un valor p menor a 0.05, lo que indica la existencia de una diferencia estadísticamente significativa entre ambos grupos. **Quiere decir:** En la comparación de este par considerando el nivel de significancia, si existe diferencia en la eficacia degradativa de la larva *Zophobas morio* en la biodegradación de bolsas de plástico de alta densidad, baja densidad lineal.

Como se puede observar en la Tabla 15, la comparación de la masa final descompuesta entre el plástico de baja densidad (LDPE) y el de baja densidad lineal (LLDPE) arrojó un valor p menor a 0.05, lo que indica la existencia de una diferencia estadísticamente significativa entre ambos grupos. **Quiere decir:** En la comparación de este par considerando el nivel de significancia, si existe diferencia en la eficacia degradativa de la larva *Zophobas morio* en la biodegradación de bolsas de plástico de baja densidad, baja densidad lineal.

4.3.2. HIPÓTESIS ESPECIFICO 1

Hipótesis alterna: Existen diferencias significativas en la eficacia de biodegradación de bolsas de plástico de alta densidad en su masa al finalizar el proceso.

Nivel de confianza: de 95% el cual representa la probabilidad de aceptación de la hipótesis alterna, en cambio el p-valor mayor al 0,05 brinda aceptación automática a la hipótesis nula.

Estadístico de prueba: ANOVA

Como se puede observar en la Tabla 18 sobre la masa final descompuesto del plástico de alta densidad (HDPE) arrojó un valor p menor a 0.05, lo que indica la existencia de una diferencia estadísticamente significativa. **Quiere decir:** Esto quiere decir que la biodegradación de bolsas de plástico de alta densidad es eficaz y presenta diferencias significativas en su masa al finalizar el proceso. Se redujo 13.92 gramos de masa plástico.

4.3.3. HIPÓTESIS ESPECIFICO 2

Hipótesis alterna: Existen diferencias significativas en la eficacia

de biodegradación de baja densidad en su masa al finalizar el proceso. **Nivel de confianza:** de 95% el cual representa la probabilidad de aceptación de la hipótesis alterna, en cambio el p-valor mayor al 0,05 brinda aceptación automática a la hipótesis nula.

Estadístico de prueba: ANOVA

Como se puede observar en la Tabla 16 sobre la masa final descompuesto del plástico de baja densidad (LDPE) arrojó un valor p menor a 0.05 en ambos indicadores, lo que indica la existencia de una diferencia estadísticamente significativa. **Quiere decir:** Esto quiere decir que la biodegradación de bolsas de plástico de baja densidad es eficaz y presenta diferencias significativas en su masa al finalizar el proceso. Se redujo 6 gramos de masa plástico.

4.3.4. HIPÓTESIS ESPECIFICOS 3

Hipótesis alterna: Existen diferencias significativas en la eficacia de biodegradación de baja densidad lineal en su masa al finalizar el proceso.

Nivel de confianza: de 95% el cual representa la probabilidad de aceptación de la hipótesis alterna, en cambio el p-valor mayor al 0,05 brinda aceptación automática a la hipótesis nula.

Estadístico de prueba: ANOVA

Como se puede observar en la Tabla 16 sobre la masa final descompuesto del plástico de baja densidad lineal (LLDPE) arrojó un valor p menor a 0.05 en ambos indicadores, lo que indica la existencia de una diferencia estadísticamente significativa. **Quiere decir:** Esto quiere decir que la biodegradación de bolsas de plástico de baja densidad lineal es eficaz y presenta diferencias significativas en su masa al finalizar el proceso. Se redujo 3.98 gramos de masa plástico.

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

➤ CON RESPECTO AL OBJETIVO GENERAL PLANTEADO

Referente al objetivo general, se planteó la siguiente hipótesis general:

Hi: Existe diferencia en la eficacia degradativa de la larva *Zophobas morio* en la biodegradación de bolsas de plástico de alta densidad, baja densidad y baja densidad lineal.

En la investigación se evidenció una diferencia significativa entre los tipos de bolsas plásticas en los indicadores de masa final. Al comparar los pares (HDPE vs. LDPE), (HDPE vs. LLDPE) y (LDPE vs. LLDPE), se observó que el grupo correspondiente al HDPE presentó la mayor biodegradación, reflejada en una mayor pérdida de masa. Le siguió el LDPE con niveles intermedios de descomposición, mientras que el LLDPE mostró la menor degradación, tanto en términos de masa.

En la investigación de Castro y Muñoz (2023) en su tesis "*Biodegradación con larvas de zophobas morio en residuos de poliuretano y polipropileno, San Juan de Lurigancho, 2023*", con objetivo de evaluar si el uso de larvas de *Zophobas morio* puede facilitar la disminución de residuos de poliuretano y polipropileno en San Juan de Lurigancho, 2023. Se obtuvo como resultado una reducción de masa limitado con un 0.63 % para poliuretano y 0.10% para polipropileno.

Al comparar los resultados obtenidos en mi investigación con los de Castro y Muñoz (2023), se evidencia una clara diferencia en la capacidad de biodegradación según el tipo de polímero tratado por las larvas de *Zophobas morio*. Mientras que mi estudio demostró una biodegradación significativamente mayor en plásticos del tipo polietileno particularmente en el HDPE, seguido por LDPE y con menor eficacia en LLDPE, los resultados de Castro y Muñoz revelan una degradación mínima en plásticos más complejos como el poliuretano (PU) y el polipropileno (PP), con pérdidas de masa inferiores al 1 %. Ambos resultados sugieren que *Zophobas morio* tiene un mayor potencial para biodegradar ciertos tipos de polietileno, pero su eficacia disminuye frente a polímeros de mayor resistencia química como el poliuretano o el polipropileno, reafirmando la necesidad de evaluar cuidadosamente la compatibilidad entre tipo de residuo plástico y especie biodegradadora.

Gutiérrez (2020) “Biodegradación de polietileno de baja densidad utilizando hongos, bacterias y grupos microbianos aislados del botadero municipal de Tacna”, con objetivo de examinar la descomposición del polietileno (PEBD) con el uso de mediante, hongos y bacterias encontrados en el botadero de la municipalidad de Tacna. Entre los resultados se obtuvo una pérdida media de 172.98 mg de LDPE, equivalente al 2.88 % del peso inicial y el consorcio 3 alcanzó la máxima biodegradación, con un 6.54 % de pérdida de peso dentro del periodo experimental.

La comparación entre los resultados obtenidos en mi investigación y los hallazgos de Gutiérrez (2020) revela diferencias sustanciales tanto en el tipo de agentes biodegradadores utilizados como en la efectividad del proceso. Mientras que mi estudio evidenció que el plástico de alta densidad (HDPE) presentó la mayor biodegradación seguido del LDPE y finalmente del LLDPE con pérdidas de masa y volumen superiores al 30 %, Gutiérrez reportó niveles considerablemente más bajos de biodegradación del LDPE, alcanzando un máximo de 6.54 % de pérdida de masa utilizando hongos y bacterias aislados del botadero de Tacna. Por tanto, los resultados de Gutiérrez respaldan mi hallazgo de que el LDPE es menos resistente que el LLDPE, pero también subrayan que el método y el agente degradador son factores críticos en la eficiencia del proceso.

Cardozo (2020) en su investigación Descomposición de poliestireno expandido por larvas de *Tenebrio molitor* L. (Coleóptera: *Tenebrionidae*), en un entorno controlado de laboratorio. Obtuvo como resultado una diferencia significativa ($p < 0.05$) entre los tratamientos en el consumo y biodegradación del polímero, e l tratamiento con 30 larvas (T3) fue el más efectivo, aunque la variación en el número de larvas no resultó determinante para el nivel de degradación.

Al comparar con mis resultados, donde se observó que el HDPE presentó la mayor biodegradación frente al LDPE y LLDPE, se destaca que los plásticos de mayor densidad pueden ser más susceptibles a la acción biológica de las larvas, posiblemente debido a su estructura más regular o a su respuesta a condiciones experimentales específicas. En

cambio, Cardozo también sugiere que la eficiencia de biodegradación no se incrementa linealmente con más larvas, pues el tratamiento con 30 larvas fue más efectivo que el de 40, lo que invita a considerar que la biodegradación óptima depende de un equilibrio entre cantidad de polímero, densidad de organismos y tiempo de exposición.

➤ CON RESPECTO AL OBJETIVO ESPECIFICO 1 PLANTEADO

Referente al objetivo específico 1, se planteó la siguiente hipótesis específico:

Hi1: Existen diferencias significativas en la eficacia de biodegradación de bolsas de plástico de alta densidad en su masa al finalizar el proceso.

En esta investigación se evidenció una diferencia significativa en los indicadores de masa final correspondientes al plástico de alta densidad (HDPE). Como muestra la figura 11, a partir de una masa inicial de 20 gramos, se logró una descomposición de 13.92 gramos, lo que representa una pérdida del 69.6 %. Estos resultados reflejan una alta eficacia en el proceso de biodegradación del HDPE bajo las condiciones experimentales aplicadas.

Díaz et al. (2023) en su tesis titulada “Estudio de la biodegradación de desechos de poliestireno expandido (EPS) en escala de laboratorio Utilizando larvas de *Tenebrio molitor*, Callao 2023”, resultó que la biodegradación fue significativamente mayor en el tratamiento con 75 % de sustrato orgánico, alcanzando hasta 57 % de degradación del EPS.

En la investigación de Díaz et al. reportaron una degradación máxima del 57 % del EPS en 30 días, utilizando larvas alimentadas con un 75 % de sustrato orgánico, lo que demuestra que el suplemento alimenticio tuvo un papel fundamental en el rendimiento del proceso. En contraste, mi investigación logró una biodegradación del 69.6 % del HDPE sin necesidad de combinarlo con material orgánico adicional, evidenciando una mayor eficacia en condiciones posiblemente más controladas o con una dieta plástica más directa. Además, la reducción de volumen fue proporcional a la pérdida de masa, lo que refuerza la eficiencia del proceso en mi experimento.

Condezo (2022) en su investigación “La capacidad de las larvas de *Tenebrio Molitor* para degradar polímeros en Huánuco 2019” se obtuvo los resultados de 86.13 % de pérdida de masa en poliestireno y 73.53 % en plástico mixto y 18.98 % en LDPE.

En el autor citado se observa que el poliestireno expandido (EPS) obtuvo la mayor degradación (86.13 % de pérdida de masa), seguido de materiales mixtos como los pañales (73.53 %), mientras que el polietileno de baja densidad (LDPE) mostró solo un 18.98 % de degradación. Esta diferencia sustancial respecto al LDPE coincide parcialmente con los resultados de mi investigación, donde también se observó menor degradación en LDPE en comparación al HDPE con el *Zophobas morio*. Ambos trabajos respaldan que la estructura química y densidad del plástico inciden directamente en la eficacia del proceso de biodegradación.

➤ CON RESPECTO AL OBJETIVO ESPECIFICO 2 PLANTEADO

Referente al objetivo específico 2, se planteó la siguiente hipótesis específico:

Hi2: Existen diferencias significativas en la eficacia de biodegradación de baja densidad en su masa al finalizar el proceso.

En mi investigación se evidenció una diferencia significativa en los indicadores de masa final del plástico de baja densidad (LDPE). A partir de una masa inicial de 20 gramos, se logró una descomposición de 6.00 gramos, lo que representa una reducción del 30 % (figura 11). Estos resultados indican que, si bien el LDPE presenta cierto nivel de biodegradación, su eficacia es considerablemente menor en comparación con otros tipos de plástico evaluados.

Rivera (2023) en su investigación evaluación de la eficiencia de la capacidad degradativa de la larva *Tenebrio Molitor* de la biodegradación de recipientes desechables (elaborados con almidón de maíz y poliestireno)” Huánuco -2022, con el objetivo de constatar la eficacia en la capacidad de degradar con gusanos *Tenebrio* los recipientes desechables, se logró los resultados de una degradación en poliestireno del 10 % en altura, 10 % en masa y 9.98 % en volumen tras

4 semanas y en fécula de maíz una degradación superior, con 23 % en altura y 12 % en masa y volumen.

En comparación con el antecedente citado, mi estudio demuestra que *Zophobas morio* puede ser más eficaz que *Tenebrio molitor* en la degradación de ciertos plásticos sintéticos, específicamente del LDPE, y aporta evidencia sólida sobre su potencial como alternativa biotecnológica para el tratamiento de residuos plásticos en contextos urbanos o industriales.

➤ CON RESPECTO AL OBJETIVO ESPECIFICO 3 PLANTEADO

Referente al objetivo específico 3, se planteó la siguiente hipótesis específico:

Hi3: Existen diferencias significativas en la eficacia de biodegradación de baja densidad lineal en su masa al finalizar el proceso.

En mi investigación se evidenció una diferencia significativa en los indicadores de masa final del plástico de baja densidad lineal (LLDPE). A partir de una masa inicial de 20 gramos, se logró una descomposición de 3.98 gramos, lo que equivale a una reducción del 19.9 % (figura 11). Estos resultados indican que el LLDPE presentó la menor eficiencia en el proceso de biodegradación comparado con los otros tipos de plástico evaluados, evidenciando su mayor resistencia a la descomposición bajo las condiciones del estudio.

Jiang et al. (2021) en su estudio Biodegradación de poliestireno por larvas de *Tenebrio molitor*, *Galleria mellonella* y *Zophobas atratus* y comparación de sus efectos de degradación, Con objetivo de comparar en laboratorio la capacidad de tres especies de larvas (*Tenebrio molitor*, *Galleria mellonella* y *Zophobas atratus*) para biodegradar bloques de EPS. Resultó que *Zophobas atratus* mostró la mayor eficacia degradativa de EPS, seguido de *Galleria mellonella* y luego *Tenebrio molitor*.

En comparación con Jiang et al., donde *Zophobas atratus* degradó casi por completo bloques de EPS (2.78 mg/larva·día) y *Tenebrio molitor* apenas 0.07 mg/larva·día, mi estudio muestra que *Zophobas morio* descompuso un 19.9 % de LLDPE (3.98 g de 20 g) en un periodo similar.

Esto revela dos puntos clave: primero, la estructura del polímero el LLDPE, con su configuración lineal ramificada y alta cristalinidadn ofrece mayor resistencia que el EPS; segundo, aunque *Zophobas morio* es capaz de atacar polietilenos, su eficacia en LLDPE es limitada frente a polímeros amorfos como el EPS. Así, la afinidad larva - plástico varía según ambas características, y tu hallazgo confirma que, para mejorar la biodegradación de LLDPE, será necesario optimizar variables como pretratamientos del polímero, cosustratos orgánicos o densidad larval. Ambos trabajos confirman que la selección de la combinación larva-plástico y la caracterización fisicoquímica del residuo son esenciales para optimizar procesos de biorremediación.

Condezo (2022) en su investigación “La capacidad de las larvas de *Tenebrio Molitor* para degradar polímeros en Huánuco 2019” se obtuvo los resultados de 86.13 % de pérdida de masa en poliestireno y 73.53 % en plástico mixto y 18.98 % en LDPE.

En el estudio del antecedente citado, *Tenebrio molitor* degradó apenas un 18.98 % de LDPE en 45 días, mientras que en mi trabajo *Zophobas morio* alcanzó un 19.9 % de descomposición de LLDPE (y un 20.6 % de reducción volumétrica) en un periodo similar. Esta coincidencia sugiere que, independientemente de la especie de larva, aunque *Zophobas morio* demostró mayor eficacia con HDPE. Así, ambos estudios indican que para mejorar la degradación de polietilenos de baja densidad será necesario optimizar variables como pretratamientos físicos o químicos del plástico, el uso de cosustratos orgánicos que estimulen el microbioma larvario, o el ajuste de densidades larvales y tiempos de exposición.

CONCLUSIONES

En respuesta al objetivo general del estudio, se concluye que la eficacia degradativa de la larva *Zophobas morio* en la biodegradación de bolsas de plástico de alta densidad, baja densidad y baja densidad lineal son diferentes, donde el HDPE mostró la mayor biodegradación, seguido por el LDPE, mientras que el LLDPE presentó la mayor resistencia a la descomposición.

Con respecto a este objetivo se concluye que *Zophobas morio* es eficaz al reducir masa de HDPE, con una media final de 6.08 gr de 20 gr iniciales.

Con respecto a este objetivo se concluye que *Zophobas morio* es eficaz al reducir masa de LDPE, con una media final de 14 gr de 20 gr iniciales.

Con respecto a este objetivo se concluye que *Zophobas morio* es eficaz al reducir masa de LLDPE, con una media final de 16.02 gr de 20 gr iniciales.

RECOMENDACIONES

Se recomienda evaluar distintas densidades larvales y tiempos de exposición más prolongados que superen los días del presente estudio para identificar el punto óptimo de relación larva-sustrato y maximizar la descomposición.

Se recomienda añadir sustratos orgánicos o inocular bacterias/hongos ligninolíticos en el medio, con el fin de estimular el microbioma intestinal de las larvas y aumentar la biodegradación de polímeros más resistentes como LLDPE.

Se recomienda realizar ensayos piloto en lotes mayores y posteriormente, pruebas en campo o en condiciones de planta de tratamiento de residuos, para validar la viabilidad operativa y económica del uso de *Z. morio* en biorremediación de polietilenos a escala industrial o comunitaria.

Se recomienda realizar estudios microbiológicos del tracto digestivo de *Zophobas morio* para identificar bacterias o enzimas específicas responsables de la biodegradación, lo que puede conducir a nuevas estrategias biotecnológicas.

Se recomienda incluir en estudios futuros a otras especies de insectos biodegradadores como *Tenebrio molitor* o *Galleria mellonella*, para establecer comparaciones directas de eficiencia frente a distintos tipos de polímeros.

Se recomienda analizar los residuos generados por las larvas (frass) para verificar que no contengan microplásticos ni compuestos tóxicos, garantizando así la inocuidad del proceso para posibles aplicaciones agrícolas o ambientales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADMIN (2023). Composición química del plástico: todo lo que debes saber.
<https://goo.su/9FnAY>
- Athanassiou, C. (2021). El supergusano *Zophobas morio* (Coleoptera:Tenebrionidae): un 'gigante durmiente' en fuentes de nutrients. *OXFORD ACADEMIC*. 21 (2), 2.
<https://goo.su/BglTiR3BANCO>
- MUNDIAL (2018). Informe del banco mundial: los desechos a nivel mundial crecerán un 70% para 2050, a menos que se adopten medidas urgentes. <https://n9.cl/lxsq>
- BBC (2015). El humilde gusano que puede ser clave para acabar con la contaminación del plástico. <https://n9.cl/nb62q>
- BBVA (2023). ¿Cuánto tarda en desaparecer una bolsa de plástico?
<https://n9.cl/qnc51>
- Bertocchini (2022). Los gusanos que degradan plástico en 40 minutos.
<https://n9.cl/ew36v8>
- Cardozo, M. (2020). tesis Biodegradación del poliestireno expandido por larvas de *Tenebrio molitor* L. (Coleóptera: Tenebrionidae), en condiciones de laboratorio. [Tesis de Título, Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD]. <https://n9.cl/4c5qu>
- Castro, M. (2021). Residuos sólidos. <https://n9.cl/o8in7>
- Chávez, E y Riofrio, C. (2019). Evaluación de la Influencia de la Función Digestiva del *Zophobas morio* en la Biodegradación de tres tipos de plástico. [Tesis de Título, Universidad Cesar Vallejo]. <https://n9.cl/59qd5>
- Cinco noticias (2020). Tipos de plásticos: composición, toxicidad y usos.
<https://n9.cl/pelv1>
- Codezo, V. (2022). Eficiencia de las larvas *Tenebrio molitor* en la biodegradación de polímeros, Húanuco 2019. [Tesis de Título, Universidad de Huánuco]. <https://n9.cl/cqruf>

- Cunguan, J., Rojas, L., Morocho, T., Arcos, B. y Ortiz, C. (2022). Biodegradación del plástico con larvas de insecto *Tenebrio molitor* como contribución interdisciplinaria a la biotecnología a la biotecnología medioambiental. *Revista Ciencia UNEMI*, 16(41), 20 – 33. <https://n9.cl/6mrkj>
- Díaz, M., Posada, J. y Pozo, S. (2023). Larvas de *Tenebrio molitor* con sustratos orgánicos en la biodegradación de residuos de poliestireno expandido (EPS) a escala de laboratorio, Callao 2023. [Tesis de Título, Universidad Nacional del Callao]. <https://n9.cl/j80wc>
- Ecoduo (2023). Efectos de los residuos sólidos para el medio ambiente y tu empresa. <https://n9.cl/l6lpl1>
- EcoInventos (2022). Plásticos biodegradables: Qué son, tipos, propiedades y ventajas. <https://n9.cl/nad9j>
- Ecología digital (2023). Impacto de los desechos sólidos en el medio ambiente. <https://n9.cl/focgx>
- Editorial, Equipo (14/01/2021). "Significado de Plástico". *Significados.com*. <https://n9.cl/u6drm>
- Envaselia (2018). Qué es el polietileno de baja densidad LDPE o PEBD. <https://n9.cl/j7afr>
- Gutiérrez, A. (2019). Biodegradación de Polietileno de Baja Densidad Utilizando Hongos, Bacterias y Consorcios Microbianos Aislados del Botadero Municipal de Tacna. [Tesis de Título, Universidad Privada de Tacna]. <https://n9.cl/we7l8o>
- Hernández S., Fernández C. Y Baptista L. Editor, Rocha M. (ed.). (2014). Metodología de la investigación. (6ª ed.). <https://n9.cl/2q412>
- Herrera, A. (2023). Impacto de los desechos sólidos en el medio ambiente. <https://n9.cl/focgx>
- IBEROPLAST (2023). Polipropileno de baja y alta densidad. <https://n9.cl/tej08>
- Jiang et al. (2021). Biodegradación de poliestireno por larvas de *Tenebrio molitor*, *Galleria mellonella* y *Zophobas atratus* y comparación de sus efectos de degradación. *Revista MDPI*, 13(20), 3539. <https://www.mdpi.com/2073-4360/13/20/3539>

- JUBEDI (2019). LLDPE (POLIETILENO BAJA DENSIDAD LINEAL).
- Juste, I. (2020). Tipos de plásticos. Ecología verde. <https://n9.cl/ya5lgs>
- Kong, K.-S., Lee, J.-H., & Lee, H. (2019). The *Galleria mellonella* hologenome supports microbiota-independent metabolism of long-chain hydrocarbon beeswax. *Cell Reports*, 26(9), 2451-2464. <https://doi.org/10.1016/j.celrep.2019.02.014>
- La República (2021). Científicos hallan microplásticos en peces que se venden en mercados de Lima. <https://n9.cl/jqo1t>
- Li, X., Zhang, H., & Wang, Y. (2025). Degradation of agricultural polyethylene film by greater wax moth (*Galleria mellonella*) larvae and screening of involved gut bacteria. *Journal of Hazardous Materials*, 468, 133201. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2025.133201>
- Lopez, M. (2020). Supervivencia de larvas de dos especies de escarabajos *Tenebrio molitor* y *Dermestes* sp. expuestas a dietas basadas en dos tipos de plásticos (polietileno y poliestireno). [Tesis de Título, Universidad central del ecuador]. <https://n9.cl/9shp4>
- MINAM (2017). Decreto legislativo N° 1278. <https://n9.cl/89dvc>
- MINAM (2018). El Plástico representa el 10 % de todos los residuos que generamos en el Perú. <https://n9.cl/n4oj5>
- MINSA (2014). Problemática de residuos sólidos en Huánuco. <https://n9.cl/7irw6>
- NATIONAL GEOGRAPHIC (2023). Alerta medio ambiente: así amenazan los plásticos a la fauna. <https://n9.cl/itx7f>
- Nava, J. (2023). Que comen las Zophobas. <https://n9.cl/4upp2>
- NEWS MUNDO (2029). Crisis mundial de la basura: 3 cifras impactantes sobre el rol de Estados Unidos. <https://n9.cl/x7nh>
- Ondarse, D. (2021). Plástico. <https://n9.cl/p1wyo>
- ONU (Programa para el medio ambiente) (2021). Informe de la ONU sobre contaminación por plásticos advierte. <https://n9.cl/z8cdy>
- Palmira (2023). Larvas de escarabajo: prometedoras para biodegradar plásticos. <https://n9.cl/25adt>

- Pérez, J. y Merino, M. (2021). Eficacia, que es, definición y concepto. <https://n9.cl/2ouv8>
- Piensaeco (2022). Por qué los plásticos no son biodegradables. <https://n9.cl/1ig8g>
- Portocarrero, F. (2021). Biodegradación de poliestireno con tenebrio Molitor para la sostenibilidad de empresas, Universidad Peruana Cayetano Heredia, Lima. [Tesis de Título, Universidad Peruana Cayetano Heredia]. <https://n9.cl/ct7jkg>
- Raza, D. y Acosta, J. (2022). Planificación ambiental y el reciclaje de desechos sólidos urbanos. *Revista SCIELO*, 22(69), 1405 – 8421. <https://n9.cl/1u1cj>
- Rhoton, S. (2023). Contaminación. <https://n9.cl/npv6>
- Rivas, J. (2020). Capacidad biodegradativa de la cucaracha Periplaneta americana (Linnaeus, 1758) sobre la bolsa plástica y el FILM para la elaboración de abono. [Tesis de Título, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. <https://n9.cl/6zh61>
- Rivera, N. (2023). Comparación de la eficacia de la capacidad degradativa de la larva tenebrio Molitor para la biodegradación de envases descartables (en base a fécula de maíz y poliestireno), Huánuco - 2022. [Tesis de Título, Universidad de Huánuco]. <https://n9.cl/m207a>
- Roberto (2013). La cría de Zophobas morio (Gusano rey). <https://n9.cl/lfixc>
- Rodriguez, A., Ortiz, Y. y Hernandez, C. (2021). Biodegradación de espumas plásticas por larvas de insectos: una estrategia sustentable. *Revista Especializada en Ciencias Químico Biológicas*, 24(1), 2395 – 8723. <https://n9.cl/si0n9>
- Rojas (2023). Todo sobre el polietileno de alta densidad (HDPE): usos, ventajas y mercado actual. <https://n9.cl/qz31t>
- Roldán, L. (2023). Biodegradación del plástico: qué es y métodos. <https://n9.cl/vhi7i>
- Rolleat (2022). ¿cuál es el impacto medioambiental del plástico? <https://n9.cl/46fd7>

- Ropero, S. (2020). Cuánto tarda en degradarse el plástico. <https://n9.cl/wpt4>
- ROTOla (2022). Zophobas morio: el gusano que es capaz de vivir nutriéndose de poliestireno. <https://n9.cl/m2ads>
- SAMSA (2017). Zophobas morio, ciclo de vida. <https://n9.cl/rpt11>
- Sanchez, J. (2020). Que son los residuos sólidos y como se clasifican. <https://n9.cl/f0lx>
- Sanluis-Verdes, A., Colomer-Vidal, P., Rodríguez-Ventura, F., Bello-Villarino, M., & Spínola-Amilibia, M. (2022). Wax worm saliva and the enzymes therein are the key to polyethylene degradation by *Galleria mellonella*. *Nature Communications*, 13(1), 5561. <https://doi.org/10.1038/s41467-022-33228-z>
- Sanluis-Verdes, A., Colomer-Vidal, P., Rodríguez-Ventura, F., Bello-Villarino, M., & Spínola-Amilibia, M. (2022). Wax worm saliva and the enzymes therein are the key to polyethylene degradation by *Galleria mellonella*. *Nature Communications*, 13(1), 5561. <https://doi.org/10.1038/s41467-022-33228-z>
- Sende, M. (2020). Biodegradación de plásticos. <https://n9.cl/tt7fg>
- Serapio, Q. y Sánchez, L. (2018). Residuos sólidos domiciliarios: caracterización y estimación energética para la ciudad de Chimbote. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 84(3), 1810 – 6340. <https://n9.cl/1y1eu>
- SERVINDRI (2022). La realidad de los residuos sólidos en el Perú. <https://n9.cl/6euy4>
- Spínola-Amilibia, M., Sanluis-Verdes, A., & Colomer-Vidal, P. (2023). Plastic degradation by insect hexamerins: Near-atomic resolution structures of the polyethylene-degrading proteins from wax worm saliva. *Science Advances*, 9(45), eadi6813. <https://doi.org/10.1126/sciadv.adi6813>
- Supo J. Y Zacarías H. Edición, Independently Published (ed.). (2020). Metodología de la investigación científica: para las ciencias de la salud y las ciencias sociales. <https://n9.cl/gnovix>
- Terra (2022). Gusanos come plástico: científicos encuentran larvas capaces de degradarlo. <https://n9.cl/xbe2rw>

Tintero (2023). Definición de larva. <https://n9.cl/yqdmu>

UNAM (2020). ¿Cuál es el impacto de los plásticos en el planeta?.
<https://n9.cl/x109cj>

Valades, B. (2020). ¿QUÉ ES EL POLIPROPILENO Y PARA QUÉ SE
UTILIZA? <https://n9.cl/cksbh>

Valera, K. (2022). Larva. Recuperado de Enciclopedia de Biología.
<https://n9.cl/0xzqk>

Wikipedia (2023). Bolsa de plástico.
https://es.wikipedia.org/wiki/Bolsa_de_pl%C3%A1stico

Wikipedia (2023). Zophobas morio. <https://n9.cl/uaje5>

Willingham, A. (2020). Científicos descubren más sobre los ‘gusanos come
plástico’ y cómo pueden ayudar biodegradar polímeros.
<https://n9.cl/kmjcq>

COMO CITAR ESTE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Solis, W. (2024). La eficacia de las larvas Zophobas morio en la
biodegradación de bolsas de plástico de alta densidad y baja densidad,
Huánuco, 2024. [Tesis. Universidad de Huánuco]. Repositorio
institucional UDH.

ANEXOS 1

MATRIZ DE CONSISTENCIA

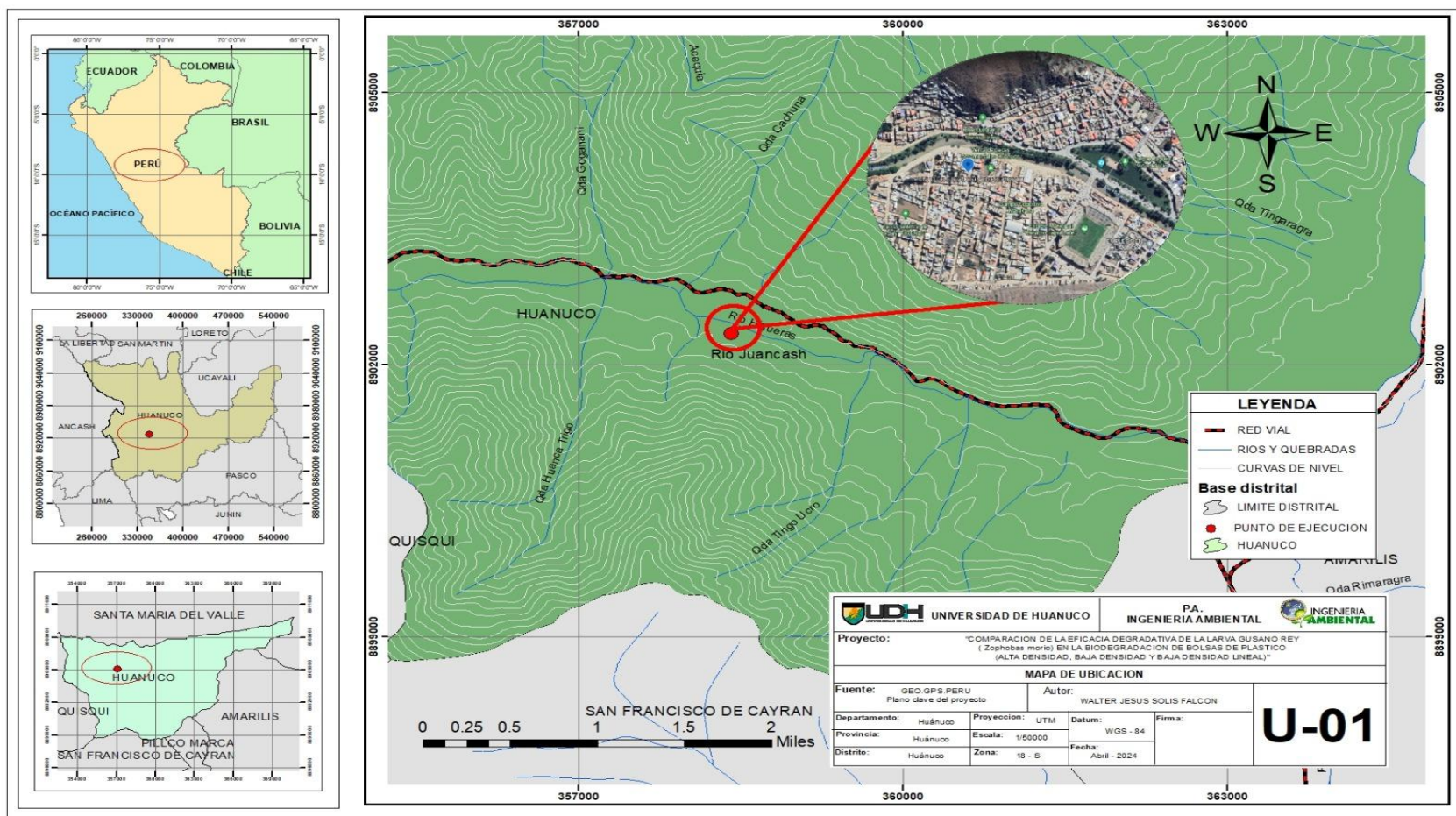
Título: La eficacia de las larvas zophobas morio en la biodegradación de bolsas de plástico de alta densidad y baja densidad, Huánuco – 2024.

Problema General	Objetivo General	Hipótesis General	Variable/ indicadores	Metodología
¿Cuál es la eficacia degradativa de la larva Zophobas morio en la biodegradación de bolsas de plástico de alta densidad, baja densidad y baja densidad lineal?	Comparar la eficacia degradativa de la larva Zophobas morio en la biodegradación de bolsas de plástico de alta densidad, baja densidad y baja densidad lineal.	HIPÓTESIS GENERAL: Existe diferencia en la eficacia degradativa de la larva Zophobas morio en la biodegradación de bolsas de plástico de alta densidad, baja densidad y baja densidad lineal. HIPOTESIS ESPECÍFICO: Hi1: Existen diferencias significativas en la eficacia de biodegradación de bolsas de plástico de alta densidad en su masa al finalizar el proceso. Ho1: No existen diferencias significativas en la eficacia de biodegradación de bolsas de	Variable de calibración: Eficacia degradativa –larvas Zophobas morio. Variable evaluativa: Biodegradación de bolsas de plástico. Parámetros físicos: -Masa inicial de plástico	Tipo Según la intervención del investigador: Con intervención Según el número de mediciones de la variable de estudio: Longitudinal Según el número de variables analíticas: Analítico Según la planificación de las mediciones: Prospectivo Enfoque: Cuantitativo Nivel: Aplicativo Diseño: Experimento verdadero Población: La población de esta investigación serán los residuos
Problema Específico	Objetivo Específico			

¿Cuáles es la eficacia de la biodegradación de bolsas de plástico de alta densidad? ¿Cuáles es la eficacia de la biodegradación de bolsas de plástico de baja densidad? ¿Cuáles es la eficacia de la biodegradación de bolsas de plástico de baja densidad lineal?	Analizar la biodegradación de bolsas de plásticos de alta densidad. Analizar la biodegradación de bolsas de plásticos de baja densidad. Analizar la biodegradación de bolsas de plásticos de baja densidad lineal.	plástico de alta densidad en su masa al finalizar el proceso. Hi2: Existen diferencias significativas en la eficacia de biodegradación de baja densidad en su masa al finalizar el proceso. Ho2: No existen diferencias significativas en la eficacia de biodegradación de baja densidad en su masa al finalizar el proceso. Hi3: Existen diferencias significativas en la eficacia de biodegradación de baja densidad lineal en su masa al finalizar el proceso. Ho3: No existen diferencias significativas en la eficacia de biodegradación de baja densidad lineal en su masa al finalizar el proceso.	-Masa final de plástico Variable de caracterización: Parámetros en el proceso Parámetros de seguimiento: - Comportamiento de larvas - Color de las bolsas	sólidos generados en la ciudad de Huánuco. La cantidad exacta de este tipo de residuos, se desconoce. Muestra: El total de la muestra por cada grupo será de 80 gramos y en los 3 grupos experimentales será de 240 gramos de plásticos. Diseño: Experimento verdadero G. Exp1 -- O1 -- I1-- O2, O3, O4, O5 G. Exp2 -- O1 -- I2-- O2, O3, O4, O5 G. Exp3 -- O1 -- I3-- O2, O3, O4, O5 G. Exp1: Grupo experimental 1 G. Exp2: Grupo experimental 2 G. Exp3: Grupo experimental 3 O1: Observación 1 O2: Observación 2 O3: Observación 3 O4: Observación 4 O5: Observación 5 I1: Intervención del Zophobas morio en plástico de alta densidad I2: Intervención del Zophobas morio en plástico de baja densidad I3: Intervención del Zophobas morio en plástico de baja densidad lineal
---	---	--	--	--

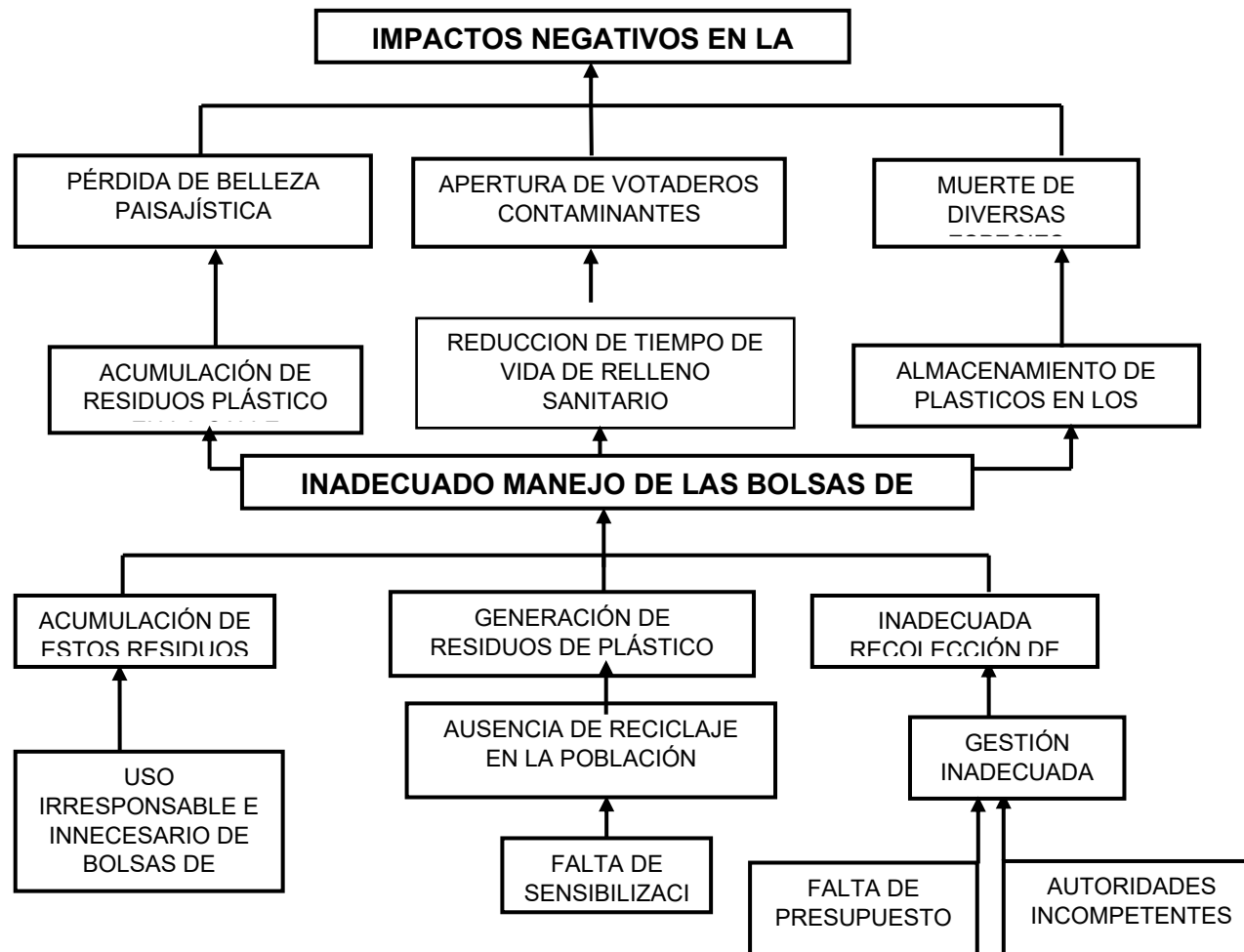
ANEXO 2

PLANO DE UBICACIÓN



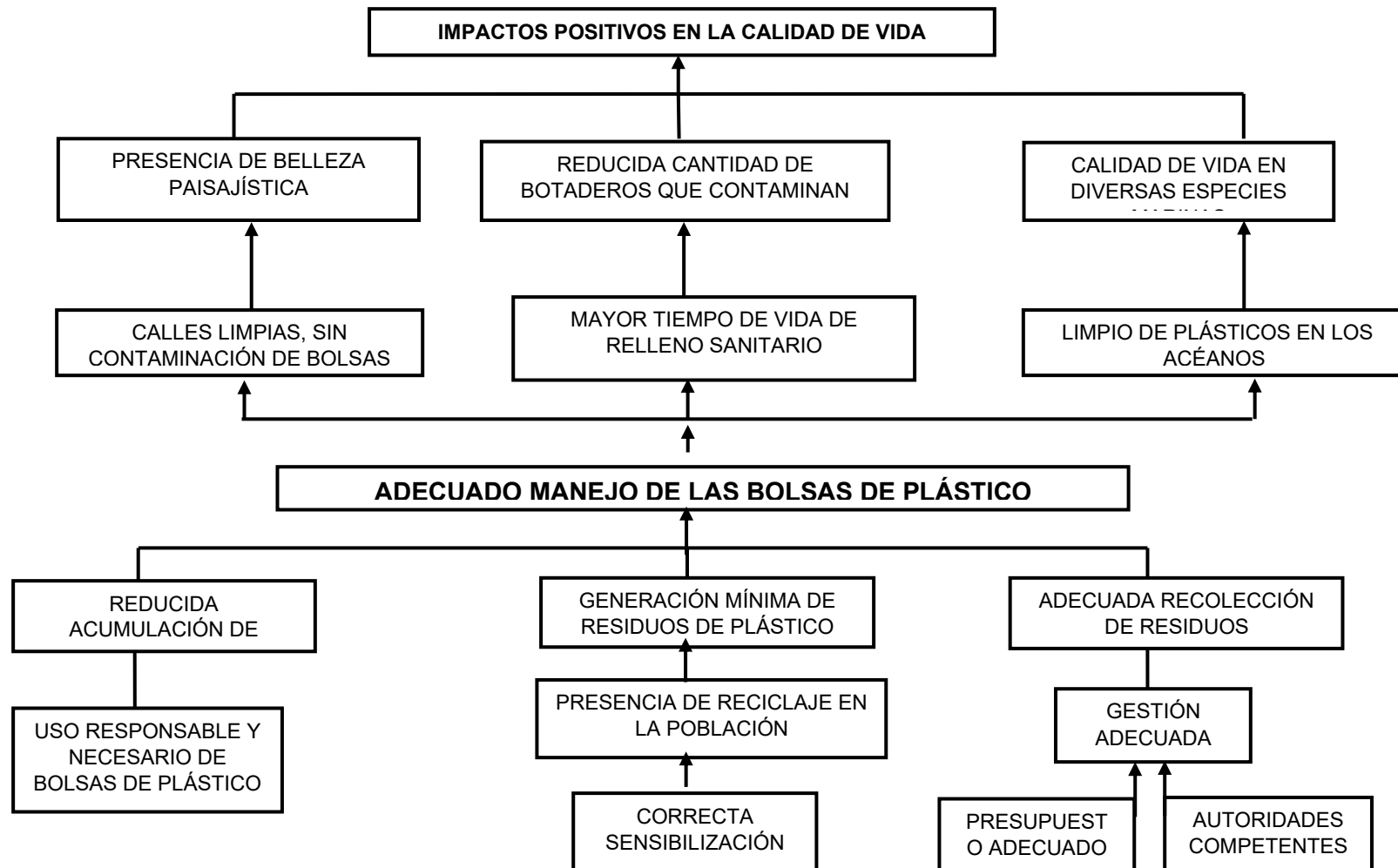
ANEXO 3

DIAGRAMA DE CAUSA Y EFECTO



ANEXO 4

DIAGRAMA DE MEDIOS Y FINES



ANEXO 5

RESOLUCIÓN DE NOMBRAMIENTO DE ASESOR



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA ACADEMICO DE INGENIERIA AMBIENTAL

"Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho"

Huánuco, 18 de mayo de 2024

Magister:

Frank Cámara Llanos

Coordinador del P. A. Ingeniería Ambiental

ASUNTO:

Conformidad de Proyecto de Tesis

De mi mayor consideración:

Por medio del presente me dirijo a su despacho en mérito a la Resolución N.º 0937-2024D-FI-UDH, en la cual se me designa como Asesor de Tesis, presentado por Walter Jesús SOLIS FALCÓN, Titulado: **"COMPARACIÓN DE LA EFICACIA DEGRADATIVA DE LA LARVA *Zophobas morio* EN LA BIODEGRADACIÓN DE BOLSAS DE PLÁSTICO DE ALTA DENSIDAD, BAJA DENSIDAD Y BAJA DENSIDAD LINEAL"**.

Al respecto, muestro mi CONFORMIDAD con el Proyecto de Tesis, por lo que recomiendo siga su curso para los posteriores trámites correspondientes.

Sin otro en particular, es oportunidad para reiterarle las muestras de mi mayor consideración y estima personal.

Atentamente,

Mg. Adderlin Arteaga Vega
Asesor

ANEXO 6

RESOLUCIÓN DE APROBACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO *Facultad de Ingeniería*

RESOLUCIÓN N° 1564-2024-D-FI-UDH

Huánuco, 16 de julio de 2024

Visto, el Oficio N° 487-2024-C-PAIA-FI-UDH, mediante el cual el Coordinador Académico de Ingeniería Ambiental, remite el dictamen de los jurados revisores, del Trabajo de Investigación (Tesis) intitulado: **"LA EFICACIA DE LAS LARVA *Zophobas morio* EN LA BIODEGRADACIÓN DE BOLSAS DE PLÁSTICO DE ALTA DENSIDAD, BAJA DENSIDAD Y BAJA DENSIDAD LINEAL, HUÁNUCO 2024"**, presentado por el (la) Bach. **Walter Jesus SOLIS FALCON**.

CONSIDERANDO:

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

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

Que, mediante Resolución N° 0937-2024-D-FI-UDH, de fecha 29 de abril de 2024, perteneciente al Bach. **Walter Jesus SOLIS FALCON** se le designó como ASESOR(A) al Mg. Adderlin Arteaga Vega, docente adscrito al Programa Académico de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería, y;

Que, según Oficio N° 487-2024-C-PAIA-FI-UDH, del Coordinador Académico quien informa que los JURADOS REVISORES del Trabajo de Investigación (Tesis) intitulado: **"LA EFICACIA DE LAS LARVA *Zophobas morio* EN LA BIODEGRADACIÓN DE BOLSAS DE PLÁSTICO DE ALTA DENSIDAD, BAJA DENSIDAD Y BAJA DENSIDAD LINEAL, HUÁNUCO 2024"**, presentado por el (la) Bach. **Walter Jesus SOLIS FALCON**, integrado por los siguientes docentes: Mg. Herman Atilio Tarazona Mirabal (Presidente), Mg. Frank Erick Camara Llanos (Secretario) y Mg. Verenisa Nohely Condezo Beteta (Vocal), quienes declaran APTO para ser ejecutado el Trabajo de Investigación (Tesis), y;

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

SE RESUELVE:

Artículo Primero. - APROBAR, el Trabajo de Investigación (Tesis) y su ejecución intitulado: **"LA EFICACIA DE LAS LARVA *Zophobas morio* EN LA BIODEGRADACIÓN DE BOLSAS DE PLÁSTICO DE ALTA DENSIDAD, BAJA DENSIDAD Y BAJA DENSIDAD LINEAL, HUÁNUCO 2024"**, presentado por el (la) Bach. **Walter Jesus SOLIS FALCON**, para optar el Título Profesional de Ingeniero(a) Ambiental, del Programa Académico de Ingeniería Ambiental de la Universidad de Huánuco.

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

REGÍSTRESE, COMUNÍQUESE Y ARCHÍVESE



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO
FACULTAD DE INGENIERÍA
Ing. Ethel Ibarra Monzon Lozano
SECRETARIO DOCENTE



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO
DECANO
Mg. Bertha Campos Rios
DECANA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

Distribución:

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

ANEXO 7

FICHA DE SEGUIMIENTO DEL *ZOPHOBAS MORIO* EN PLÁSTICO DE ALTA DENSIDAD

 UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO		“Comparación de la eficacia degradativa de la larva gusano rey (<i>Zophobas morio</i>) en la biodegradación de bolsas de plástico (alta densidad, baja densidad y baja densidad lineal)”				
FICHA DE SEGUIMIENTO (<i>Zophobas morio</i> en plástico de alta densidad)						
INVESTIGADOR: BACH. SOLIS FALCON, WALTER JESUS						
FACULTAD: INGENIERÍA			ESCUELA: PROGRAMA ACADEMICO DE INGENIERÍA AMBIENTAL			
DEPARTAMENTO: HUÁNUCO			PROVINCIA: HUÁNUCO	DISTRITO: HUÁNUCO		
N° DE CONTROL:						
FECHA:						
VARIABLE DE EVALUACIÓN	TRATAMIENTOS	MASA DE PLASTICO inicial (gramos)	MASA DE PLASTICO final (gramos)	VOLUMEN inicial	VOLUMEN final	OBSERVACIONES
BOLSAS PLÁSTICO DE ALTA DENSIDAD (Representado por bolsa negra de basura)	T1.AD	20	6,8	21.05	7,16	
	T2.AD	20	5,3	21.05	5,58	
	T3.AD	20	7,4	21.05	7,79	
	T4.AD	20	4,7	21.05	4,94	
	T5.AD	20	6,2	21.05	6,52	
	PARÁMETROS	COMPORTAMIENTO DE LARVAS		COLOR DE BOLSAS		OBSERVACIONES
	T1.AD	La accion fue lenta con pequeñas excavaciones		Blanco lechoso, amarillenta y luego amarillas moteado grisáceo		
	T2.AD	La accion fue lenta con pequeñas excavaciones		Blanco lechoso, amarillenta y luego amarillas moteado grisáceo		
	T3.AD	La accion fue lenta con pequeñas excavaciones		Blanco lechoso, amarillenta y luego amarillas moteado grisáceo		
	T4.AD	La accion fue lenta con pequeñas excavaciones		Blanco lechoso, amarillenta y luego amarillas moteado grisáceo		
	T5.AD	La accion fue lenta con pequeñas excavaciones		Blanco lechoso, amarillenta y luego amarillas moteado grisáceo		

ANEXO 8

FICHA DE SEGUIMIENTO DEL *ZOPHOBAS MORIO* EN PLÁSTICO DE BAJA DENSIDAD

 		“Comparación de la eficacia degradativa de la larva gusano rey (<i>Zophobas morio</i>) en la biodegradación de bolsas de plástico (alta densidad, baja densidad y baja densidad lineal)”				
FICHA DE SEGUIMIENTO (<i>Zophobas morio</i> en plástico de baja densidad)						
INVESTIGADOR: BACH. SOLIS FALCON, WALTER JESUS						
FACULTAD: INGENIERÍA			ESCUELA: PROGRAMA ACADEMICO DE INGENIERÍA AMBIENTAL			
DEPARTAMENTO: HUÁNUCO			PROVINCIA: HUÁNUCO	DISTRITO: HUÁNUCO		
N° DE CONTROL:						
FECHA:						
VARIABLE DE EVALUACIÓN	TRATAMIENTOS	MASA DE PLASTICO inicial (gramos)	MASA DE PLASTICO final (gramos)	VOLUMEN inicial	VOLUMEN final	OBSERVACIONES
BOLSAS PLÁSTICO DE BAJA DENSIDAD (Representado por bolsa blanca de mercado)	T1.BD	20	14,7	21.51	15,81	
	T2.BD	20	13,9	21.51	14,95	
	T3.BD	20	13	21.51	13,98	
	T4.BD	20	15,1	21.51	16,24	
	T5.BD	20	13,3	21.51	14,31	
	PARÁMETROS	COMPORTAMIENTO DE LARVAS		COLOR DE BOLSAS		OBSERVACIONES
	T1.BD	La accion fue lenta con pequeñas excavaciones		Blanco opaco, beige pálido, marrón claro y moteada		
	T2.BD	La accion fue lenta con pequeñas excavaciones		Blanco opaco, beige pálido, marrón claro y moteada		
	T3.BD	La accion fue lenta con pequeñas excavaciones		Blanco opaco, beige pálido, marrón claro y moteada		
	T4.BD	La accion fue lenta con pequeñas excavaciones		Blanco opaco, beige pálido, marrón claro y moteada		
	T5.BD	La accion fue lenta con pequeñas excavaciones		Blanco opaco, beige pálido, marrón claro y moteada		

ANEXO 9

FICHA DE SEGUIMIENTO DEL ZOPHOBAS MORIO EN PLÁSTICO DE BAJA DENSIDAD LINEAL

  UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO		“Comparación de la eficacia degradativa de la larva gusano rey (<i>Zophobas morio</i>) en la biodegradación de bolsas de plástico (alta densidad, baja densidad y baja densidad lineal)”				
FICHA DE SEGUIMIENTO (<i>Zophobas morio</i> en plástico de baja densidad lineal)						
INVESTIGADOR: BACH. SOLIS FALCON, WALTER JESUS						
FACULTAD: INGENIERÍA			ESCUELA: PROGRAMA ACADEMICO DE INGENIERÍA AMBIENT			
DEPARTAMENTO: HUÁNUCO			PROVINCIA: HUÁNUCO		DISTRITO: HUÁNUCO	
N° DE CONTROL:						
FECHA:						
VARIABLE DE EVALUACIÓN	TRATAMIENTOS	MASA DE PLASTICO inicial (gramos)	MASA DE PLASTICO final (gramos)	VOLUMEN inicial	VOLUMEN final	OBSERVACIONES
BOLSAS PLÁSTICO DE BAJA DENSIDAD LINEAL (Representado por bolsa transparente film)	T1.BDL	20	16,4	21.74	17,83	
	T2.BDL	20	15,5	21.74	16,85	
	T3.BDL	20	16,9	21.74	18,37	
	T4.BDL	20	15,2	21.74	16,52	
	T5.BDL	20	16,1	21.74	17,5	
	PARÁMETROS	COMPORTAMIENTO DE LARVAS		COLOR DE BOLSAS		OBSERVACIONES
	T1.BDL	La accion fue lenta con pequeñas excavaciones		Blanco crudo, amarllamiento, gris claro y por último color inalterado		
	T2.BDL	La accion fue lenta con pequeñas excavaciones		Blanco crudo, amarllamiento, gris claro y por último color inalterado		
	T3.BDL	La accion fue lenta con pequeñas excavaciones		Blanco crudo, amarllamiento, gris claro y por último color inalterado		
	T4.BDL	La accion fue lenta con pequeñas excavaciones		Blanco crudo, amarllamiento, gris claro y por último color inalterado		
	T5.BDL	La accion fue lenta con pequeñas excavaciones		Blanco crudo, amarllamiento, gris claro y por último color inalterado		

ANEXO 10

COMPORTAMIENTO DE LAS LARVAS Y CAMBIOS EN EL COLOR DE LAS BOLSAS DURANTE EL PROCESO DE BIODEGRADACIÓN

Comportamiento de las larvas

Etapas inicial (días 1–7): Tras el contacto con el sustrato plástico, las larvas de *Zophobas morio* se agruparon en puntos de borde y doblez de las bolsas, zonas donde el material presentaba mayor irregularidad. Durante las primeras 48 h, mostraron exploración activa: recorrían la superficie con movimientos ondulatorios, tanteando con sus mandíbulas hasta hallar zonas de enganche para iniciar la masticación.

Fase de ingestión intensiva (días 8–21): Una vez marcados los puntos de alimentación, las larvas excavaron pequeñas galerías de 1–2 mm de ancho y hasta 5 mm de profundidad, alimentándose de las capas superficiales. Se observó que, en HDPE, la acción fue más lenta y sinestesia: las larvas maniobraban con esfuerzo para raspar finas láminas, mientras que en LDPE y LLDPE abrían perforaciones más amplias y regulares. La producción de excremento (frass) aumentó notablemente, acumulándose debajo de las zonas de alimentación.

Fase de dispersión y reutilización (días 22–30): Al agotarse los puntos de fácil acceso, las larvas se dispersaron por toda la muestra, alternando periodos de alimentación con descanso en grietas y refugios alimentados con excremento seco. Hacia el final del experimento, mostraron disminución de la actividad motora ligada al estado de desarrollo larvario y prefirieron alimentarse en los extremos ya debilitados del plástico.

Cambios en el color de las bolsas

HDPE:

- **Inicial:** Tono blanco lechoso homogéneo.

- **Día 10:** Aparición de pequeñas zonas translúcidas, amarillentas en los bordes de las perforaciones.
- **Día 20:** Extensión de áreas amarillentas y grisáceas alrededor de las galerías, producto de la oxidación superficial inducida por el raspado larvario.
- **Final (día 30):** Bolsas con manchas amarillas y moteado grisáceo, contraste marcado con el blanco original, indicando oxidación y fragmentación microestructural.

LDPE:

- **Inicial:** Color blanco casi opaco, con ligero brillo.
- **Día 10:** Pérdida de brillo y aparición de tonos beige pálido en las zonas de alimentación.
- **Día 20:** Manchas beige y grisáceas más extensas; los bordes de las perforaciones adoptaron un color marrón claro.
- **Final:** Superficie moteada de beige y marrón claro, con áreas translúcidas donde el plástico se había adelgazado.

LLDPE:

- **Inicial:** Blanco crudo, ligeramente translúcido.
- **Día 10:** Muy pocas variaciones de color; apenas un tenue amarillamiento cerca de las galerías.
- **Día 20:** Aparición de manchas muy pálidas (gris claro), casi imperceptibles.
- **Final:** Color casi inalterado, con sutiles zonas translúcidas; el impacto larvario fue visible sólo en la textura, no en la cromaticidad.

ANEXO 11

PANEL FOTOGRÁFICO

Preparación de materiales y envases para tratamiento



Dieta de las larvas



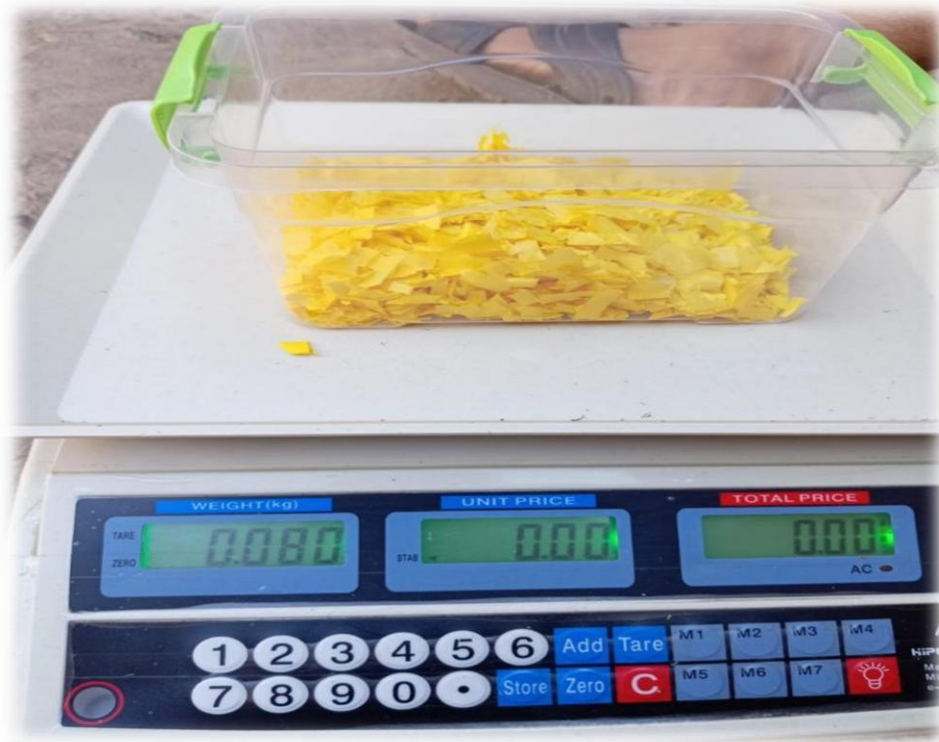
Pesado de envase para llevar el control del peso de plastico



Pesado de plastico a tratar segun corresponda



Pesado de plastico a tratar segun corresponda



Monitoreo de larvas en actividad



Unidades de tratamientos y area de ejecución



Unidades de tratamientos y area de ejecución



Visita de supervisión de jurado



ANEXO 12

FICHA TÉCNICA DE CADA POLIETILENO



Ficha Técnica
(Marzo/2023)

Polietileno de Alta Densidad AP1050

Descripción:

La resina AP1050 es un polietileno bimodal de alta densidad con alto peso molecular, diseñado para la fabricación de películas. Presenta un amplio rango en distribución de peso molecular que le permite alcanzar una excelente resistencia al rasgo, alta resistencia al impacto y excelente procesabilidad.

Aplicaciones:

Bolsas tipo camiseta, bolsa en rollo, bolsa en general.

Procesos:

Extrusión de película soplada.

Propiedades de control:

Característica	Método	Unidades	Valores
Índice de fluidez (190°C/2,16kg)	ASTM D 1238	g/10 min	-
Índice de fluidez (190°C/5kg)	ASTM D 1238	g/10 min	0.31
Índice de fluidez (190°C/21,6kg)	ASTM D 1238	g/10 min	9.0
Densidad	ASTM D 4883	g/cm ³	0.951

Propiedades típicas¹

Característica	Método	Unidades	Valores
Esfuerzo en el punto de cedencia DM/DT	ASTM D882	MPa	34/31
Esfuerzo en el punto de rotura DM/DT	ASTM D882	MPa	69/62
Deformación en el punto de rotura DM/DT	ASTM D882	%	300/500
Módulo tensión (método secante al 2%) DM/DT	ASTM D882	MPa	930/1035
Rasgo Elmedorf DM/DT	ASTM D1922	gF	18/180
Resistencia al Impacto por caída de dardo	ASTM D 1709/A	gF	350

¹ Las condiciones óptimas de procesamiento varían de acuerdo con el tipo de equipo utilizado y no podrán considerarse como garantía de rendimiento.

Observaciones finales

1. Leer la hoja de datos de seguridad antes de su uso.
2. La información de este documento se suministra de buena fe e indica valores típicos obtenidos en nuestros laboratorios y no debe ser considerada como absoluta ni constituye ninguna garantía, solo las propiedades y valores que constan en el certificado de calidad constituyen la garantía del producto.
3. En algunas aplicaciones, Braskem IDESA ha desarrollado resinas a medida para cumplir requisitos específicos.
4. En caso de dudas sobre el uso o para discutir otras aplicaciones, contactar al área de servicios técnicos Braskem IDESA serviciotecnico@braskem.com.
5. Los valores que constan en este documento pueden cambiar sin previa comunicación de Braskem IDESA.
6. Braskem IDESA no recomienda el uso de este producto para la fabricación de envases, piezas o cualquier otro tipo de producto usado para almacenar o estar en contacto con soluciones parenterales, o con el interior del cuerpo humano.
7. El contenido de esta ficha técnica cancela la emitida previamente sobre este producto.
8. Para obtener información sobre el BPA, consulte la hoja de información regulatoria (RIS).
9. Para obtener información relacionada al contacto con alimentos, incluyendo el cumplimiento de la administración de alimentos y fármacos de los E.E.U.U (FDA), consulte la hoja de información regulatoria (RIS) disponible en www.braskemidesa.com.
10. Para obtener más información sobre datos regulatorios y de seguridad comuníquese con Braskem IDESA en product.safety@braskem.com.

FICHA TÉCNICA: BOLSA POLIETILENO BAJA DENSIDAD

CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL BIEN

Denominación del bien	: BOLSA POLIETILENO BAJA DENSIDAD
Denominación técnica	: BOLSA POLIETILENO BAJA DENSIDAD
Nombre Comercial	: Bolsa para Basura
Segmento 13/Clase 22/Familia 10 ONU	:
Nombre del Bien en el Catálogo ONU	: Polietileno de baja densidad (LDPE)
Código ONU	:
Unidad de medida	: Unidad (Un)
Anexos adjuntos	:
Descripción General	: Bolsa de Polietileno de Baja Densidad de material termoplástico, perteneciente al grupo de los poliolefinas y es fabricado en láminas plásticas. Artículo para uso general.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL BIEN

Material

Polietileno de Baja Densidad (LDPE, PEDB)

Peso molecular : menor a 20 000 g. mol⁻¹

Estructura : cadena ramificada

Características físicas

Color : varios

Densidad : 0,92-0,93 g/cm³

Resistencia a la tracción : 0,9-2,5 %

Elongación : 550-600 %

Rigidez dieléctrica : 480 V/mill

Máxima temperatura uso : 82-100° C

Propiedades

1. Es un producto de peso liviano, lo que permite usarse con otros productos afines como, el cartón, aluminio, etc.
 2. Por sus múltiples dimensiones pueden combinarse en la producción de artículos de diversos tamaños.
 3. Mantiene la higiene en la cadena productiva, es decir desde la producción hasta el usuario final.
 4. Buena resistencia térmica y química.
 5. Muy buena procesabilidad, es decir, se puede procesar por los métodos de conformados empleados para los termo plásticos.
 6. Es más flexible que el Polietileno de alta densidad.
-

Polietileno lineal de baja densidad FG31

Descripción:

La resina FG31 es un polietileno lineal de baja densidad. Se usa en extrusión de películas tubulares, en mezcla con polietilenos. Tiene excelentes propiedades mecánicas. Contiene aditivo antioxidante.

Aplicaciones:

Películas elásticas (stretch), bolsas industriales, forros (liners), mezclas con PEBD y PEAD y envase de uso general.

Proceso:

La resina FG31D puede ser procesada en extrusoras convencionales en mezclas con polietilenos en una proporción máxima del 30%. Los mejores resultados se obtienen con polietileno de baja fluidez. El rango de temperatura más adecuado para las mezclas con PEBD es ligeramente más alto que del PEBD convencional (10 a 20 °C).

Propiedades de control:

	Método ASTM	Unidad	Valor
Índice de fluidez (190/2,16)	D 1238	g/10 min	1,00
Densidad	D 792	g/cm ³	0,919

Propiedades típicas:

Propiedades de referencia de la película^a

	Método ASTM	Unidad	Valor
Tensión de rotura (DM/DT)	D 882	MPa	40/30
Elongación máxima (DM/DT)	D 882	%	930/1280
Módulo Secante a 1% (DM/DT)	D 882	MPa	160/180
Resistencia al impacto por caída de dardo	D 1709	g/F50	80
Resistencia al rasgado Elmendorf (DM/DT)	D 1922	gF	120/400
Opacidad	D 1003	%	11
Brillo a 60°	D 2457	%	107

(a) Película de 25 µm de espesor, obtenida en extrusora de 40 mm, con relación de sopado de 2,2:1 (DM = dirección de extrusión y DT = dirección transversal a la extrusión)