

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

FACULTAD DE INGENIERÍA



**UNIVERSIDAD NACIONAL
DE JAÉN**

**CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL Y
AMBIENTAL**

**EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD BIODEGRADADORA
DE *Galleria mellonella* (LEPIDOPTERA: PYRALIDAE)
SOBRE TRES TIPOS DE POLÍMEROS COMERCIALES EN
CONDICIONES DE LABORATORIO**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
FORESTAL Y AMBIENTAL**

Autor: Bach. Sandra Danixsa Samaniego Lalangui

Asesores: Dr. Alexander Huamán Mera.




Dr. Manuel Alejandro Ix Balam.

Línea de investigación: Tecnología para la gestión sostenible del territorio y los recursos naturales

JAÉN – PERU, 2025

Sandra Danixsa Samaniego Lalangui

EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD BIODEGRADADORA DE *Galleria mellonella* (LEPIDOPTERA: PYRALIDAE) SOBRE TRES ...

-  Quick Submit
-  Quick Submit
-  Universidad Nacional de Jaen

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid::1:3298068032

48 Páginas

Fecha de entrega

18 jul 2025, 12:40 p.m. GMT-5

8818 Palabras

Fecha de descarga

18 jul 2025, 12:43 p.m. GMT-5

52.660 Caracteres

Nombre de archivo

INFORME_FINAL_Samaniego_Lalangui_Sandra_Danixsa-2_1_1.pdf

Tamaño de archivo

1.1 MB

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN
Dr. Segundo Sánchez Tello
Responsable (e) de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería




4% Similitud general

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

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Coincidencias menores (menos de 15 palabras)

Fuentes principales

- 3%  Fuentes de Internet
- 0%  Publicaciones
- 3%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

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

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

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN


Dr. Segundo Sánchez Tello
Responsable (e) de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería

FORMATO 03: ACTA DE SUSTENTACIÓN

En la ciudad de Jaén, el día miércoles 20 de agosto del año 2025, siendo las 11:0 horas, se reunieron los integrantes del Jurado:

Presidente : Dr. Juan Manuel Garay Román
Secretario : Dr. Cirilo Morio Cairra Marmen
Vocal : Dr. Lupo Leonidas Varas Ponce, para evaluar la Sustentación del Informe Final:

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

Titulado: " EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD BIODEGRADADORA DE *Galleria mellonella* (LEPIDOPTERA: PYRALIDAE) SOBRE TRES TIPOS DE POLÍMEROS COMERCIALES EN CONDICIONES DE LABORATORIO"

Presentado por el Bachiller Sandra Danixsa Samaniego Lalangui de la Escuela Profesional de Ingeniería Forestal Ambiental

Después de la sustentación y defensa, el Jurado acuerda:

() Aprobar () Desaprobar () Unanimidad () Mayoría

Con la siguiente mención:

a) Excelente	18, 19, 20	(<u>18</u>)
b) Muy bueno	16, 17	()
c) Bueno	14, 15	()
d) Regular	13	()
e) Desaprobado	12 ó menos	()

Siendo las horas del mismo día, el Jurado concluye el acto de sustentación confirmando su participación con la suscripción de la presente.

Jaén, 20 de agosto de 2025

M
Secretario

[Signature]
Presidente

[Signature]
Vocal

"Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana"

ANEXO N°06:

**DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD Y DE NO PLAGIO
DE LA TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN (PREGRADO)**

Yo, Samaniego Lalangui Sandra Danixsa, egresado de la carrera Profesional de Ingeniería Forestal Ambiental de la Facultad de ingeniería de la Universidad Nacional de Jaén, identificado (a) con DNI 74879760.

Declaro bajo juramento que:

1. Soy Autor del trabajo titulado:

“EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD BIODEGRADADORA DE *Galleria mellonella* (LEPIDOPTERA: PYRALIDAE) SOBRE TRES TIPOS DE POLÍMEROS COMERCIALES EN CONDICIONES DE LABORATORIO”.

Asesorado por el Dr. Alexander Huamán Mera y el Dr. Manuel Alejandro Ix Balam. El mismo que presento bajo la modalidad de tesis para optar; el Título Profesional/Grado Académico de Ingeniero Forestal y Ambiental.

2. El texto de mi trabajo final respeta y no vulnera los derechos de terceros, incluidos los derechos de propiedad intelectual. En el sentido, el texto de mi trabajo final no ha sido plagiado total ni parcialmente, para la cual he respetado las normas internacionales de citas y referencias de las fuentes consultadas.

3. El texto del trabajo final que presento no ha sido publicado ni presentado antes en cualquier medio electrónico o físico.

4. La investigación, los resultados, datos, conclusiones y demás información presentada que atribuyo a mi autoría son veraces.

5. Declaro que mi trabajo final cumple con todas las normas de la Universidad Nacional de Jaén.

6. Soy consciente de que el hecho de no respetar los derechos de autor y hacer plagio, es objeto de sanciones universitarias y/o legales.

El incumplimiento de lo declarado da lugar a responsabilidad del declarante, en consecuencia; a través del presente documento asumo frente a terceros, la Universidad Nacional de Jaén y/o la Administración Pública toda responsabilidad que pueda derivarse por el trabajo final presentado. Lo señalado incluye responsabilidad pecuniaria incluido el pago de multas u otros por los daños y perjuicios que se ocasionen.

Fecha: Jaén, 05 de octubre de 2025.



Sandra Danixsa Samaniego Lalangui

ÍNDICE

RESUMEN.....	5
ABSTRACT	6
I. INTRODUCCIÓN.....	7
II. MATERIALES Y MÉTODOS.....	9
2.1. Población.....	9
2.2. Muestra.....	9
2.3. Ubicación del área de estudio.....	9
2.4. Materiales.....	11
2.4.1. Material informático.....	11
2.4.2. Material de escritorio.....	11
2.4.3. Material de laboratorio.....	11
2.4.4. Material experimental.....	11
2.4.5. Equipos.....	11
2.5. Procedimientos.....	12
2.5.1. Adecuación de los recipientes del sistema experimental.....	12
2.5.2. Aclimatación de larvas de <i>Galleria mellonella</i>	12
2.5.3. Instalación de unidades experimentales.....	13
2.6. Flujograma del proceso.....	15
2.7. Técnica de recolección de datos.....	16
2.8. Ficha Instrumentos de recolección de datos.....	16
2.9. Análisis estadístico.....	16
III. RESULTADOS.....	16
3.1. Crecimiento y desarrollo de <i>Galleria mellonella</i> en condiciones de laboratorio.....	16
3.2. Porcentaje de degradación de los polímeros por larvas de <i>Galleria mellonella</i>	17
3.3. Capacidad biodegradadora de <i>Galleria mellonella</i>	18
3.4. Análisis estadístico de la capacidad biodegradadora.....	22
3.5. Efecto de la alimentación con polímeros en la biología <i>Galleria mellonella</i>	23
3.6. Análisis de supervivencia de las larvas.....	27
IV. DISCUSIÓN.....	29
4.1. Condiciones de crecimiento y desarrollo de <i>Galleria mellonella</i>	29
4.2. Degradación de polímeros por <i>Galleria mellonella</i>	30
4.3. Efecto en la alimentación con polímero para <i>Galleria mellonella</i>	31
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	32
5.1. Conclusiones.....	32
5.2. Recomendaciones.....	33
VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	34

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Tratamientos y Repeticiones.....	14
Tabla 2 Degradación porcentual de los 3 tipos de polímeros	18
Tabla 3 Consumo de masa de polímero LLPDE (embalaje para transporte) durante el periodo experimental.....	19
Tabla 4 Consumo de masa del polímero LDPE (Bolsa plástica) durante el periodo experimental	20
Tabla 5 Consumo de masa del polímero LLDPE (Tecnopor tapper) durante el periodo experimental.....	21
Tabla 6 Prueba de normalidad a los 3 tipos de polímeros	22
Tabla 7 Prueba de homogeneidad de varianzas	23
Tabla 8 Tabla ANOVA del diseño experimental de bloques completamente al azar	23
Tabla 9 Supervivencia de Galleria mellonella expuesta a LLDPE (Embalaje para transporte) ...	24
Tabla 10 Supervivencia de Galleria mellonella alimentada con LDPE (bolsa plástica)	25
Tabla 11 Supervivencia de Galleria mellonella alimentada con EPS (tecnopor taper)	26
Tabla 12 Supervivencia promedio (%) de Galleria mellonella bajo diferentes tratamientos con polímeros comerciales y dieta natural (control).....	27
Tabla 13 Estadísticos descriptivos de la tasa de supervivencia (%) de larvas de Galleria mellonella.....	28
Tabla 14 Prueba de homogeneidad de varianzas de Levene para la tasa de supervivencia larval (%) entre tratamientos.....	28
Tabla 15 Resultados del análisis comparativo de la supervivencia larval entre tratamientos mediante la prueba t de Student	29

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Huevos de larvas de <i>Galleria mellonella</i>	9
Figura 2 Mapa de ubicación del área de estudio.....	10
Figura 3 Diseño del recipiente experimental con tapa modificada para la cría de <i>Galleria mellonella</i>	12
Figura 4 Acondicionamiento de huevos de <i>Galleria mellonella</i> sobre la dieta compuesta	12
Figura 5 Verificación microscópica de la muestra de polen previo a su uso experimental.....	13
Figura 6 Diseño experimental de bloques completamente al azar.....	14
Figura 7 Flujograma de procesos.....	15
Figura 8 Ciclo biológico de <i>Galleria mellonella</i>	17
Figura 9 Disminución porcentual de masa de polímeros ante larvas de <i>Galleria mellonella</i>	18
Figura 10 Consumo del polímero embalaje para transporte (LLDPE) durante 28 días.....	19
Figura 11 Consumo de masa del polímero bolsa plástica (LDPE) durante 28 días.....	20
Figura 12 Consumo de masa del polímero tecnopor tapper (PS) durante 28 días	21
Figura 13 Supervivencia de <i>Galleria mellonella</i> alimentadas con embalaje para transporte (LLDPE) durante 28 días	24
Figura 14 Supervivencia de <i>Galleria mellonella</i> alimentadas con LDPE (bolsa plástica) durante 28 días	25
Figura 15 Resultados del análisis de varianza (ANOVA) de un factor aplicado a la tasa de supervivencia (%) de larvas de <i>Galleria mellonella</i>	26
Figura 16 Porcentaje de supervivencia de larvas de <i>Galleria mellonella</i> alimentadas con diferentes tipos de dieta	27

RESUMEN

Los plásticos son polímeros versátiles de bajo costo de producción, esenciales en diversos campos, lo que ha generado su producción masiva. Sin embargo, su alta resistencia a los procesos de degradación natural y la inadecuada gestión de los residuos ha ocasionado un creciente problema de contaminación ambiental. Frente a esta crisis surgieron soluciones innovadoras como el uso de insectos como agentes biodegradadores, particularmente especies como *Galleria mellonella* ofrecen perspectivas biológicas prometedoras. En ese sentido en esta investigación se evaluó, en condiciones controladas de laboratorio, la capacidad de biodegradación de larvas de *Galleria mellonella* sobre tres tipos de polímeros comerciales: polietileno lineal de baja densidad (LLDPE), polietileno de baja densidad (LDPE), y poliestireno (PS). Se establecieron tres tratamientos experimentales alimentados con 5 g de polímero y un tratamiento control alimentado con una dieta natural compuesta por cera, polen y miel, cada uno con cinco repeticiones y 30 larvas por réplica. El consumo promedio del polímero evidenció diferencias de consumo entre los materiales evaluados: 14,38 % para LDPE, 14,31 % para PS y 8,65 % para LLDPE. Estos resultados demuestran que *G. mellonella* presenta un notable potencial biodegradador para enfrentar el desafío global de la contaminación plástica.

Palabra clave: *Gusano de Cera, larvas, biodegradación, plásticos, sostenibilidad ambiental, biodisponibilidad.*

ABSTRACT

Plastics are versatile, low-cost polymers that are essential in various fields, leading to their mass production. However, their high resistance to natural degradation processes and inadequate waste management have led to a growing problem of environmental pollution. Faced with this crisis, innovative solutions have emerged, such as the use of insects as biodegrading agents. Species such as *Galleria mellonella*, in particular, offer promising biological prospects. In this regard, this research evaluated, under controlled laboratory conditions, the biodegradation capacity of *Galleria mellonella* larvae on three types of commercial polymers: linear low-density polyethylene (LLDPE), low-density polyethylene (LDPE), and polystyrene (PS). Three experimental treatments were established, each fed 5 g of polymer, and a control treatment fed a natural diet composed of wax, pollen, and honey, each with five replicates and 30 larvae per replicate. Average polymer consumption showed differences among the materials evaluated: 14.38% for LDPE, 14.31% for PS, and 8.65% for LLDPE. These results demonstrate that *G. mellonella* has significant biodegradation potential to address the global challenge of plastic pollution.

keywords: *Waxworm, larvae, biodegradation, plastics, environmental sustainability, bioavailability.*

I. INTRODUCCIÓN.

Los polímeros plásticos son muy importantes en la sociedad moderna y han evolucionado a lo largo del tiempo, generando diversos avances en múltiples sectores como la medicina, la construcción, el transporte y la agricultura (de Sousa, 2021). Estos materiales se caracterizan por su alta maleabilidad, resistencia y bajos costos de producción lo cual ha derivado en el uso desmedido y la inadecuada gestión de los residuos plásticos, contribuyendo significativamente a la contaminación global y al deterioro ambiental (Horton, 2022).

Según Olisah y Obiekezie (2024), la disposición final de residuos sólidos en botaderos, práctica común en el Perú y en otros países que carecen de infraestructura adecuada para el manejo de desechos, genera serios problemas ambientales.

El plástico desechado puede tardar siglos en degradarse a través de un proceso conocido como fotodegradación, en donde factores como la luz solar, el calor y el oxígeno generan la erosión y la fragmentación de los plásticos (Jansen et al., 2024).

En la actualidad, la contaminación por plásticos constituye un motivo de creciente preocupación. En el 2023 la producción mundial del plástico fue de 413,8 toneladas, de los cuales solo el 8,7% pertenece a plásticos reciclados posconsumo y solo el 0,7% son plásticos de origen biológico, cifras que resultan muy alarmantes (PLASTICS EUROPE, 2022).

Esta problemática ha generado la búsqueda de métodos respetuosos y prometedores al problema de degradación de los plásticos, como el uso de organismos con la capacidad de biodegradar polímeros sintéticos (Wu *et al.*, 2023). Mediante la ampliación de su respuesta metabólica que deriva en la conversión de un contaminante en compuestos que generen menor impacto (Trigo *et al.*, 2009). Entre estos, se encuentra el lepidóptero *Galleria mellonella* (Pyralidae), cuyas larvas tienen la capacidad de degradar polietileno (PE), que representa el 40 % de la demanda de productos plásticos (Bombelli *et al.*, 2017).

Existe un paradigma sobre la capacidad de *Galleria mellonella* para degradar plásticos, orientando las investigaciones hacia el estudio de los procesos que hacen posible este tipo de degradación, a través de la implementación de dietas basadas en diversos tipos de plásticos para entender el papel de la microbiota intestinal (Boschi *et al.*, 2023). Así surgió el reporte de las primeras dos enzimas de la familia de las fenoloxidasas con la capacidad de oxidar y despolimerizar el plástico, un hallazgo clave que nos permite comprender mejor los procesos de biodegradación generado por insectos (Sanluis-Verdes *et al.*, 2022).

Los insectos representan una vía innovadora y prometedora para combatir la contaminación por plásticos. Sin embargo, su aplicación a escala industrial aún enfrenta importantes desafíos, entre ellos la necesidad de estandarizar los procedimientos de cría y optimizar las tasas de degradación para hacer viable su uso a gran escala (Vital-Vilchis & Karunakaran, 2025). Actualmente, aún queda mucho por descubrir sobre el papel de los insectos en la degradación de plásticos. Existen diversas interrogantes que se deben aclarar respecto a estos procesos, ya que aún no existe una explicación precisa sobre los mecanismos involucrados en la degradación (Mitra *et al.*, 2023).

En este contexto la presente investigación tuvo como objetivo evaluar la capacidad biodegradadora de *Galleria mellonella* sobre tres tipos de polímeros comerciales en condiciones de laboratorio. Los polímeros evaluados fueron Polietileno de baja densidad (LDPE), Poliestireno (PS) y Polietileno lineal de baja densidad (LLDPE). Para alcanzar este propósito, se plantearon como objetivos específicos establecer las unidades experimentales adecuándolas a las condiciones óptimas de crecimiento y desarrollo en condiciones de laboratorio para *Galleria mellonella*, analizar los resultados de biodegradación de *Galleria mellonella* al alimentarse con los tres tipos de polímeros comerciales y evaluar el efecto de la alimentación con polímeros en la biología de *Galleria mellonella*. Los resultados obtenidos proponen la estandarización de las condiciones de cría de las larvas de *G. mellonella*, la comparación de la capacidad biodegradadora de los polímeros y la identificación del efecto de la alimentación con polímero para esta especie.

II. MATERIALES Y MÉTODOS.

El nivel de investigación es aplicada, sigue un diseño experimental BCA y es transversal.

2.1. Población.

La población de estudio estuvo compuesta por 1.5 gramos de huevos de *Galleria mellonella*, equivalentes aproximadamente a 3000 unidades, suministradas por la empresa Biocontrol (Figura 1). El uso de huevos como unidades experimentales permitió el control de la dieta y la recreación de una microbiota intestinal normal.

Figura 1

Huevos de larvas de Galleria mellonella



2.2. Muestra.

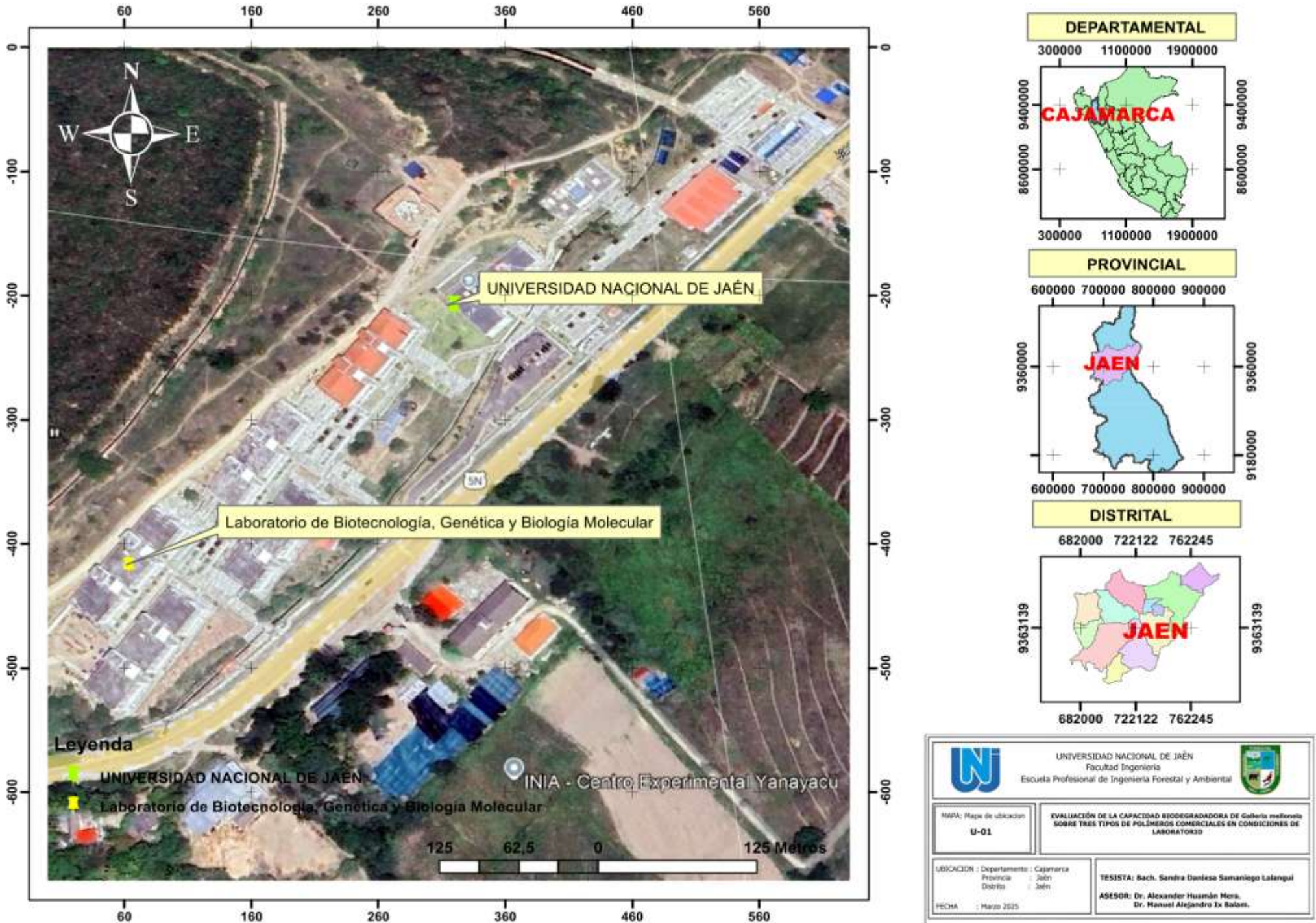
La muestra estuvo constituida por 600 larvas de *Galleria mellonella*, alimentadas con una dieta compuesta por polen, cera y miel de abeja, durante un periodo de siete días. En cada repetición se utilizaron 30 larvas.

2.3. Ubicación del área de estudio.

La presente investigación fue desarrollada en la escuela profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental de la Universidad Nacional de Jaén (UNJ), específicamente en el Laboratorio de Biotecnología, Genética y Biología Molecular, situado en el campus de la universidad en el sector Yanayacu, kilómetro 24 de la carretera Jaén - San Ignacio, en el distrito y provincia de Jaén, departamento de Cajamarca (Figura 2).

Figura 2

Mapa de ubicación del área de estudio



2.4. Materiales.

2.4.1. Material informático.

Se utilizó una laptop Lenovo i5, el software ZEN 3.4 (blue edición), el software ArcGis Desktop 10.8, software IBM SPSS STATISTICS 26.

2.4.2. Material de escritorio.

Plumón marcador indeleble, libreta de notas, lapiceros, cinta adhesiva, paquete de papel bond de 500 hojas A4, papel adhesivo blanco brillante 180 g A4 25 hojas.

2.4.3. Material de laboratorio.

Mortero con pilón, tamiz malla N° 14 (1.4mm), pinza de laboratorio 115mm, placa de Petri, láminas portaobjetos, recipientes, malla mosquito galvanizada de 0,25 mm, tijera para lata 10" (254 mm), pegamento cemento de contacto africano, silicona, pistola para silicona. cuchilla 18mm, estantería, material para alimentar larvas (polen comercial).

2.4.4. Material experimental.

Estuvo constituido por huevos de *G. mellonella* y tres tipos de residuos plásticos comerciales, utilizados como dieta en los tratamientos experimentales:

- **Polietileno de baja densidad (LDPE):** correspondiente a bolsas plásticas delgadas.
- **Poliestireno (PS):** conocido comercialmente como tecnopor.
- **Polietileno lineal de baja densidad (LLDPE):** también conocido como stretch film, utilizado como plástico estirable para envolver cajas o productos destinados al transporte.

2.4.5. Equipos.

Balanza analítica modelo SAB 224e, estereomicroscopio modelo Zeiss sterero discovery v8, microscopio modelo Zeiss axiocam 208, termohigrómetro digital.

2.5. Procedimientos.

2.5.1. Adecuación de los recipientes del sistema experimental.

Larvas de *G. mellonella* fueron acondicionadas en recipientes plásticos transparentes (1L) como sistemas experimentales, los cuales fueron seleccionados debido a su resistencia, disponibilidad comercial y facilidad de modificación. Se realizó un corte cuadrado (10cm x 10 cm) en la parte central de la tapa, el cual fue reemplazado por una malla metálica fijada con Cemento de Contacto Africano, y posteriormente reforzada con silicona caliente (Figura 3).

Figura 3

Diseño del recipiente experimental con tapa modificada para la cría de Galleria mellonella



2.5.2. Aclimatación de larvas de *Galleria mellonella*.

Las larvas utilizadas en este estudio se obtuvieron a partir de huevos. Los huevos fueron colocados sobre una capa de dieta compuesta de polen, cera y miel de abeja, distribuida en cuatro recipientes plásticos estériles como se muestra en la (Figura 4). Los huevos permanecieron en los recipientes durante 10 días a temperatura ambiente hasta la eclosión de las larvas.

Figura 4

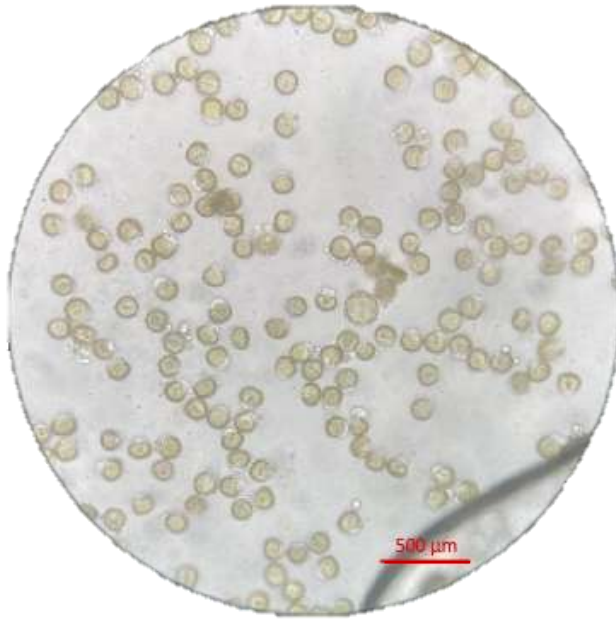
Acondicionamiento de huevos de Galleria mellonella sobre la dieta compuesta



Para garantizar la pureza del polen previo a la preparación de la dieta, se realizó una verificación de autenticidad utilizando un microscopio óptico. Durante este proceso, se aplicó fucsina, un colorante que tiñe los granos de un tono rosado (Figura 5), el cual permitió resaltar sus características morfológicas y facilitar su identificación.

Figura 5

Verificación microscópica de la muestra de polen previo a su uso experimental



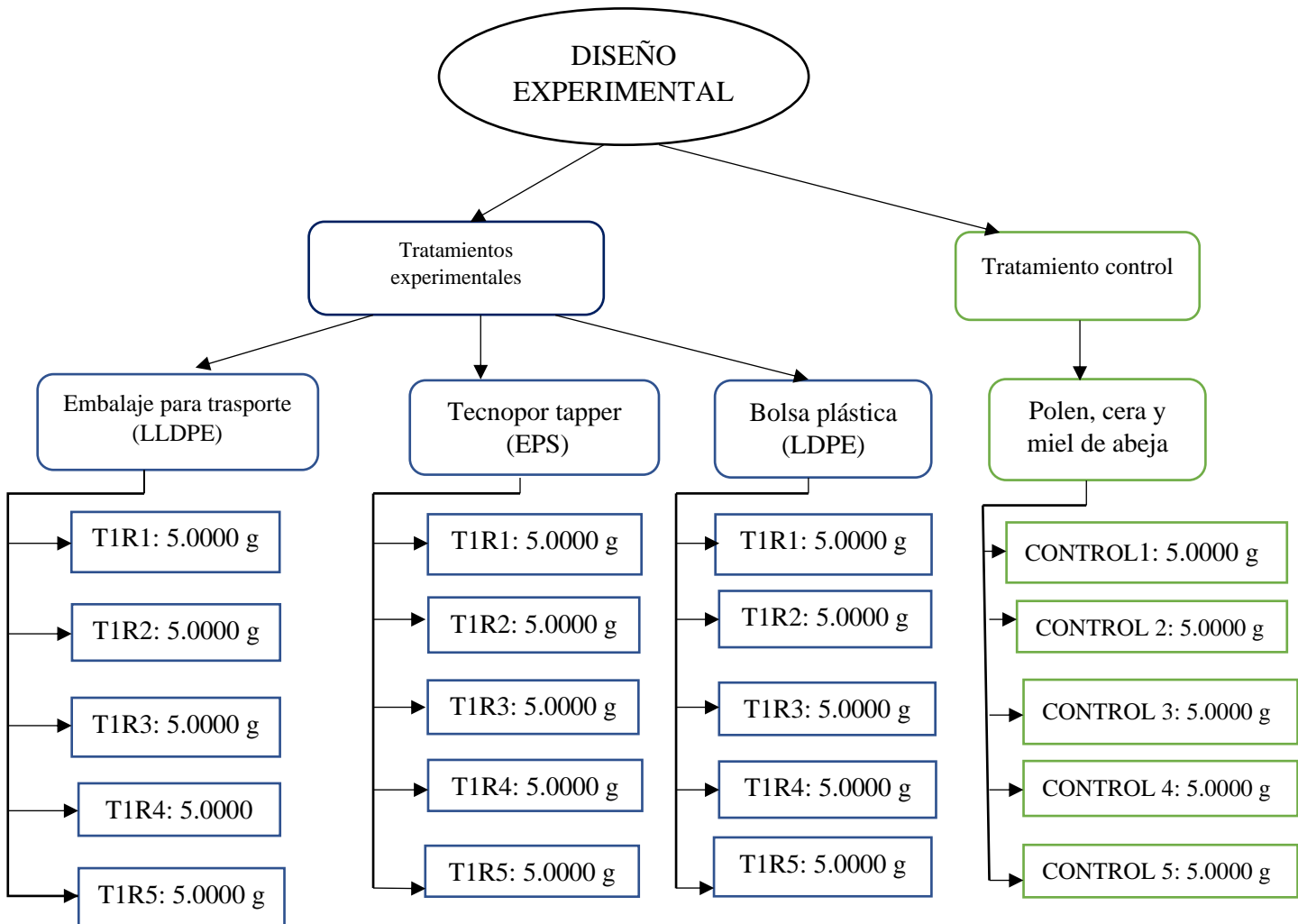
2.5.3. Instalación de unidades experimentales.

Treinta larvas fueron distribuidas en cada unidad experimental, con 5 repeticiones para cada uno de los 4 tratamientos experimentales: tres tratamientos con diferentes tipos de plástico como fuente de alimentación, y un tratamiento control alimentado con cera de abejas, polen y miel como se representa en la Tabla 1 y en la Figura 6. Las unidades experimentales fueron mantenidas durante 28 días a 26.5 °C, 50% de humedad relativa y fotoperiodo natural (13 h luz; 11 h oscuridad) tiempo en el cual se realizó un seguimiento periódico.

Tabla 1
Tratamientos y repeticiones

Repeticiones	Tratamientos		
	T1	T2	T3
R1	T1R1	T2R1	T3R1
R2	T1R2	T2R2	T3R2
R3	T1R3	T2R3	T3R3
R4	T1R4	T2R4	T3R4
R5	T1R5	T2R5	T3R5

Figura 6
Diseño experimental de bloques completamente al azar (DBCA)

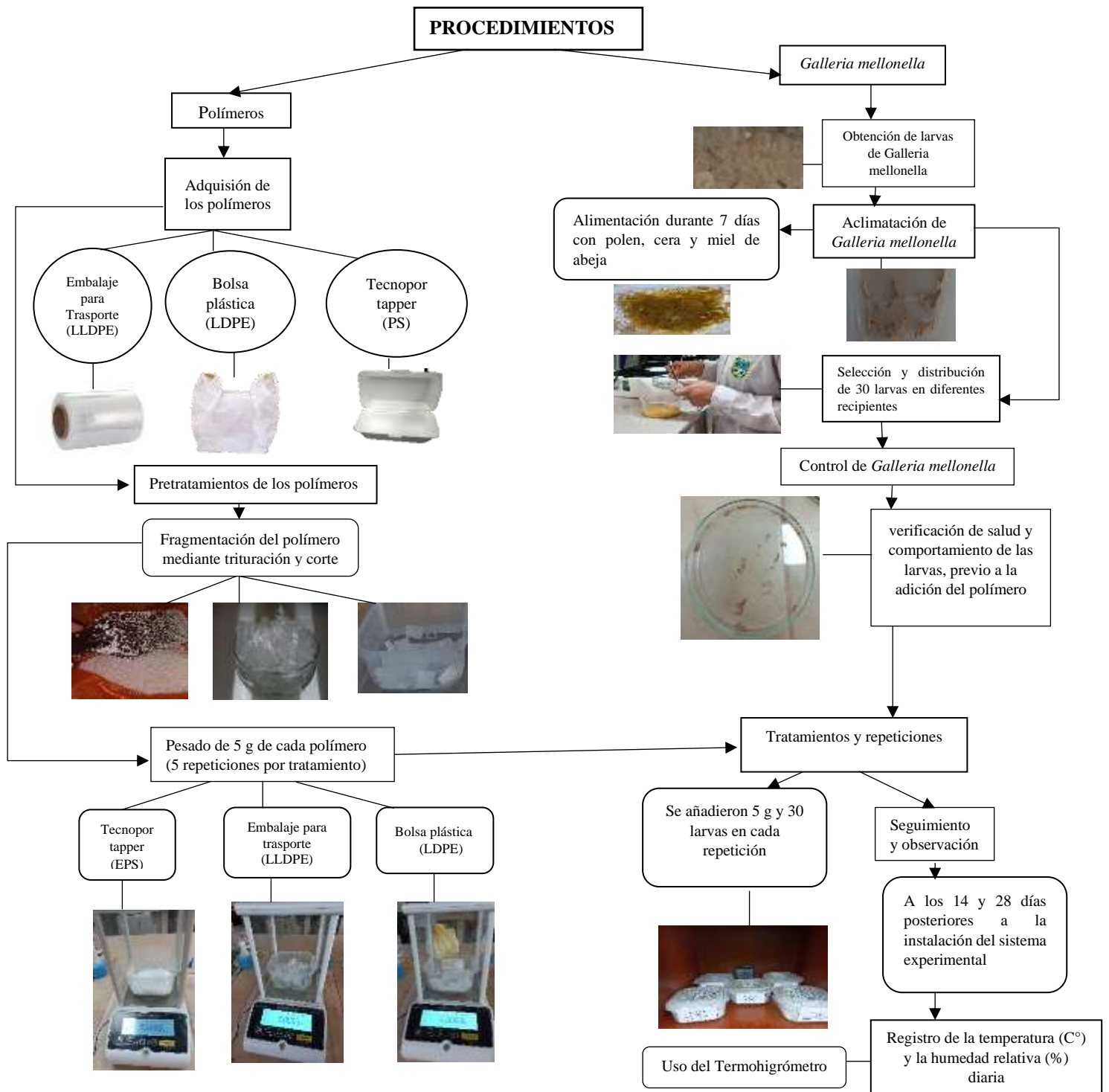


2.6. Flujograma del proceso.

Se presenta de manera ordenada y secuencial las etapas desarrolladas durante la fase experimental (Figura 7).

Figura 7

Esquema metodológico del procedimiento experimental



2.7. Técnica de recolección de datos.

La temperatura (°C) y la humedad relativa (%) se registraron con un termohigrómetro digital y el control de peso se registró con una balanza analítica mientras que la tasa de supervivencia de *G. mellonella* se registró mediante observación directa.

2.8. Ficha Instrumentos de recolección de datos.

- **Ficha N° 1:** Se usó para el registro de masa del polímero que se realizó a los 14 y 28 días mediante el uso de una balanza analítica (Anexo 1)
- **Ficha N°2:** "Tasa de Supervivencia", empelada para el registro del estado vital de las larvas a lo largo del estudio, distinguiendo entre larvas vivas y muertas (Anexo 2).
- **Ficha N°3:**"Control de Condiciones Ambientales del Espacio", se utilizó para documentar la temperatura y la humedad relativa del entorno (Anexo 3).

2.9. Análisis estadístico.

El análisis estadístico se realizó aplicando la prueba de Shapiro-Wilk para verificar la normalidad de los datos, la prueba de Levene para comprobar la homogeneidad de varianzas entre los grupos y, finalmente, el ANOVA para determinar si existían diferencias significativas entre los tratamientos.

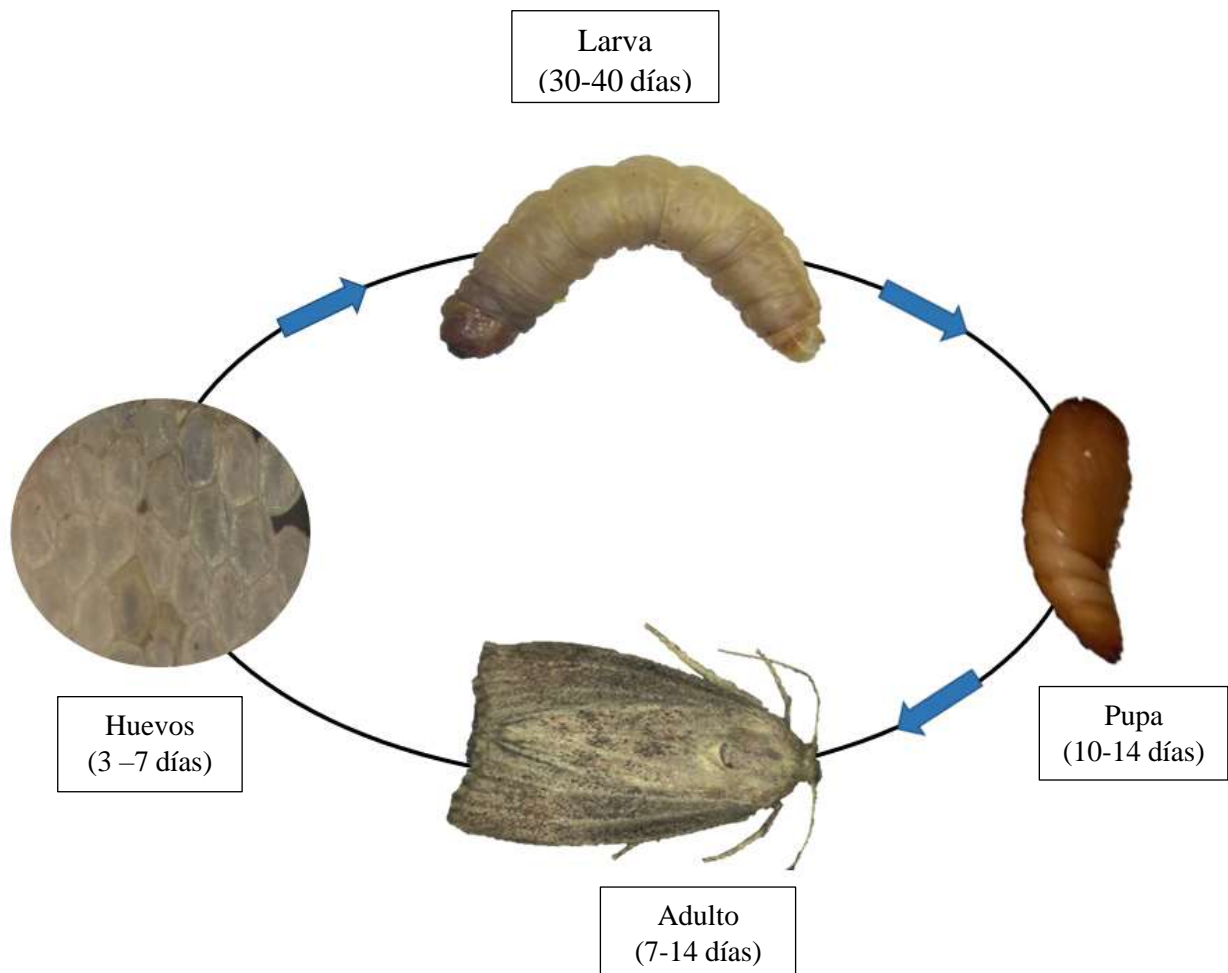
III. RESULTADOS.

3.1. Crecimiento y desarrollo de *Galleria mellonella* en condiciones de laboratorio.

Durante el experimento se establecieron condiciones adecuadas de crecimiento y desarrollo de las larvas de *G. mellonella*. Estas consistieron en estructurar un ambiente donde se controló la temperatura y la humedad relativa, e iluminación, a fin de equilibrar su crecimiento y desarrollo. Inicialmente se estableció 22 °C de temperatura como medio circundante según lo recomendado por Marquina y Carbajal (2017), lo que ocasionó que las larvas detuvieran su metabolismo. En ese sentido se ajustó a otras temperaturas, resultando la mejor temperatura 26.5 °C, con una humedad relativa de 50%. El ciclo biológico de *G. mellonella*, criado bajo estas condiciones experimentales se ilustra en la figura 8 mediante imágenes capturadas durante el desarrollo del ensayo.

Figura 8

Ciclo biológico de *Galleria mellonella*



3.2. Porcentaje de degradación de los polímeros por larvas de *Galleria mellonella*.

Los polímeros que mostraron el mayor porcentaje de degradación por parte de las larvas de *Galleria mellonella* fueron las bolsas plásticas y el tecnopor, con disminuciones del 14,38 % y 14,31 %, respectivamente, siendo ligeramente superior el porcentaje de degradación de las bolsas plásticas. En contraste, el embalaje de transporte registró la menor pérdida de masa, con 8,25 % de reducción. Los resultados de disminución porcentual al término de la fase experimental se presentan en la tabla 2 y en la figura 9.

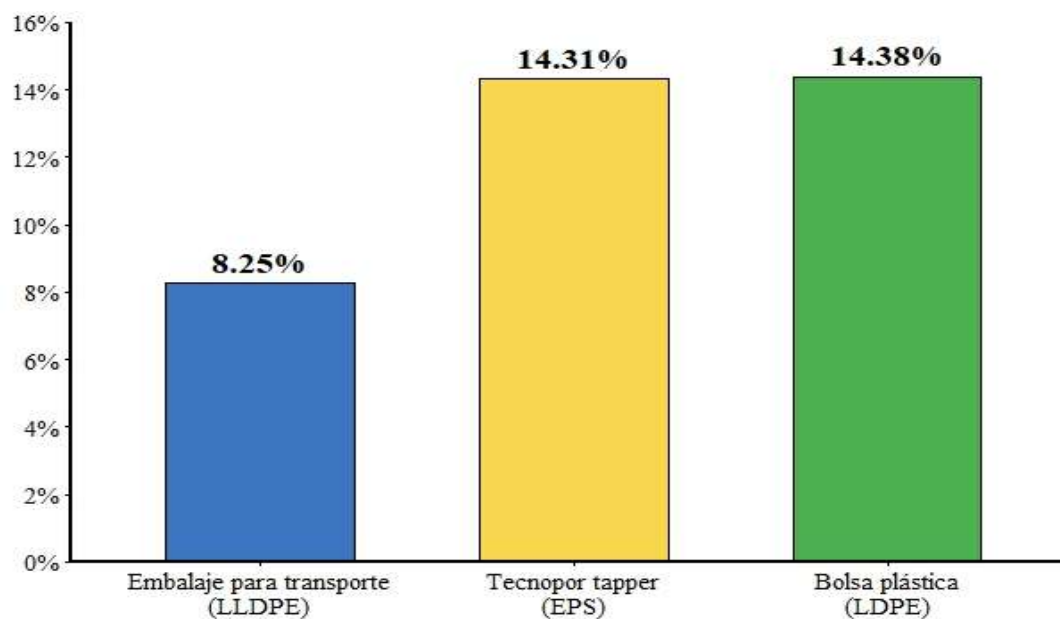
Tabla 2

Degradación porcentual de los 3 tipos de polímeros

Tipo de Polímero	Masa inicial del polímero	Masa final del polímero promedio	Disminución de masa promedio	Disminución porcentual promedio
Embalaje para transporte (LLDPE)	5.0000	4.5874	0.4126	8.252 %
Bolsa plástica (LDPE)	5.0000	4.2808	0.7192	14.38%
Tecnopor tapper (EPS)	5.0000	4.2847	0.7153	14.31%

Figura 9

*Disminución porcentual de masa de polímeros ante larvas de *Galleria mellonella**



3.3.Capacidad biodegradadora de *Galleria mellonella*.

La evaluación de la capacidad de biodegradación se llevó a cabo mediante dos controles de peso, uno a los 14 días y otro al finalizar la fase experimental el día 28 para calcular el consumo neto de polímero por parte de las larvas. La diferencia entre ambos valores permitió estimar la capacidad degradadora de *Galleria mellonella* frente a cada tipo de polímero evaluado.

En la tabla 3 y en la figura 10 se resume la pérdida de masa de polietileno lineal de baja densidad (LLDPE) tras 28 días de exposición, el consumo promedio fue de 0,4126 g, en la réplica R4 se registró la menor reducción (0,1129 g) y la R1 la mayor (0,8378 g). Estos datos confirman que todas las réplicas experimentaron degradación del polímero por acción de las larvas.

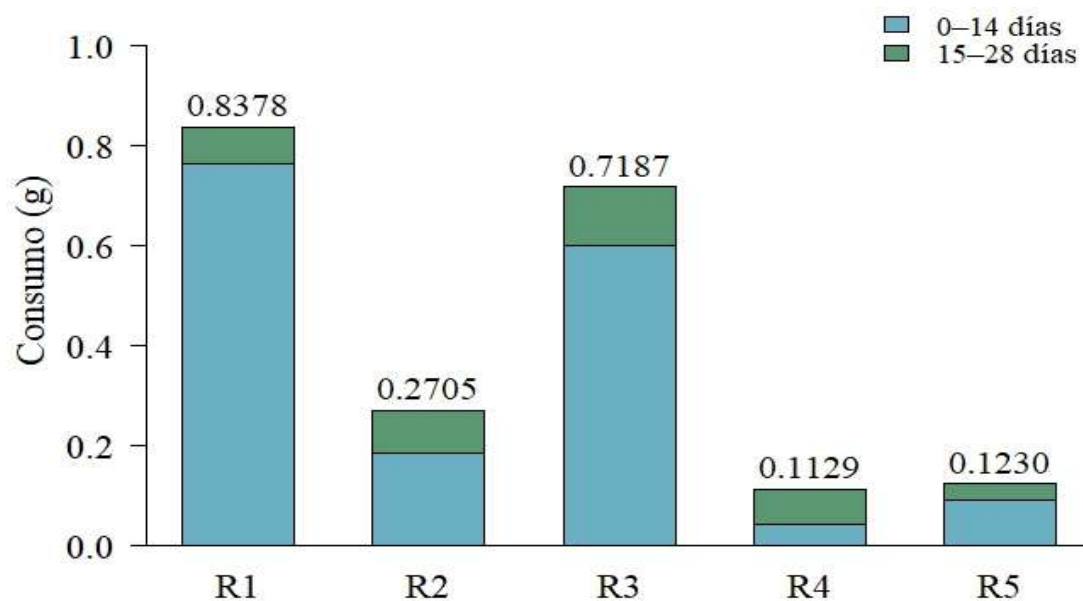
Tabla 3

Consumo de masa de polímero LLPDE (embalaje para transporte) durante el periodo experimental

Tratamiento	Repetición	Numero de larvas	Tipo de polímero	Peso inicial (g)	Masa del polímero (28 días)	Consumo del polímero (14 días)	Consumo del polímero (28 días)
T1	R1	30	Embalaje para transporte (LLDPE)	5	4.1622	0.7629	0.8378
	R2	30	Embalaje para transporte (LLDPE)	5	4.7295	0.1845	0.2705
	R3	30	Embalaje para transporte (LLDPE)	5	4.2813	0.6015	0.7187
	R4	30	Embalaje para transporte (LLDPE)	5	4.8871	0.0431	0.1129
	R5	30	Embalaje para transporte (LLDPE)	5	4.877	0.0892	0.1230

Figura 10

Consumo del polímero embalaje para transporte (LLDPE) durante 28 días



En la tabla 4 y en la figura 11 se resume la pérdida de masa del polietileno de baja densidad (LDPE). Se observó un consumo variable entre réplicas la mayor reducción de masa se registró en R1 (0,8908 g) y la menor en la R2 (0,4597 g). Estos resultados confirman la capacidad de las larvas para degradar este polímero.

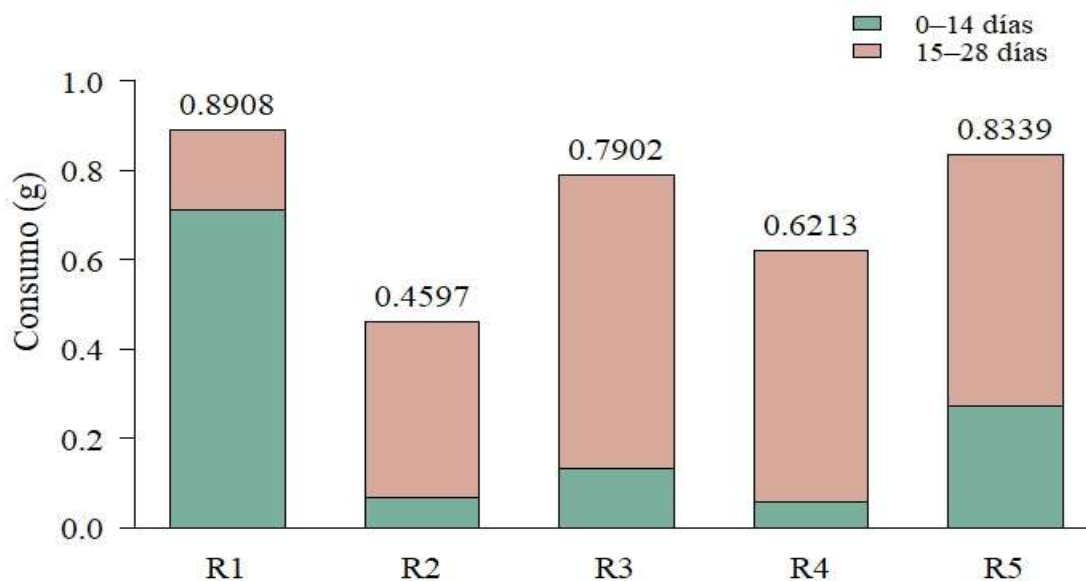
Tabla 4

Consumo de masa del polímero LDPE (Bolsa plástica) durante el periodo experimental

Tratamiento	Repetición	Numero de larvas	Tipo de polímero	Peso inicial (g)	Masa del polímero (28 días)	Consumo del polímero (14 días)	Consumo del polímero (28 días)
T2	R1	30	Bolsa plástica (LDPE)	5	4.1092	0.7113	0.8908
	R2	30	Bolsa plástica (LDPE)	5	4.5403	0.0682	0.4597
	R3	30	Bolsa plástica (LDPE)	5	4.2098	0.1316	0.7902
	R4	30	Bolsa plástica (LDPE)	5	4.3787	0.0571	0.6213
	R5	30	Bolsa plástica (LDPE)	5	4.1661	0.2710	0.8339

Figura 11

Consumo de masa del polímero bolsa plástica (LDPE) durante 28 días



En la tabla 5 y en la figura 12 se evaluó la degradación del tecnopor tipo táper (poliestireno), observándose un consumo variable entre réplicas: la mayor pérdida de masa se registró en R2, con (1,1123 g) al día 28, mientras que la menor correspondió a R4(0,2461 g). Estos resultados reflejan la capacidad degradativa de las larvas frente a este tipo de polímero.

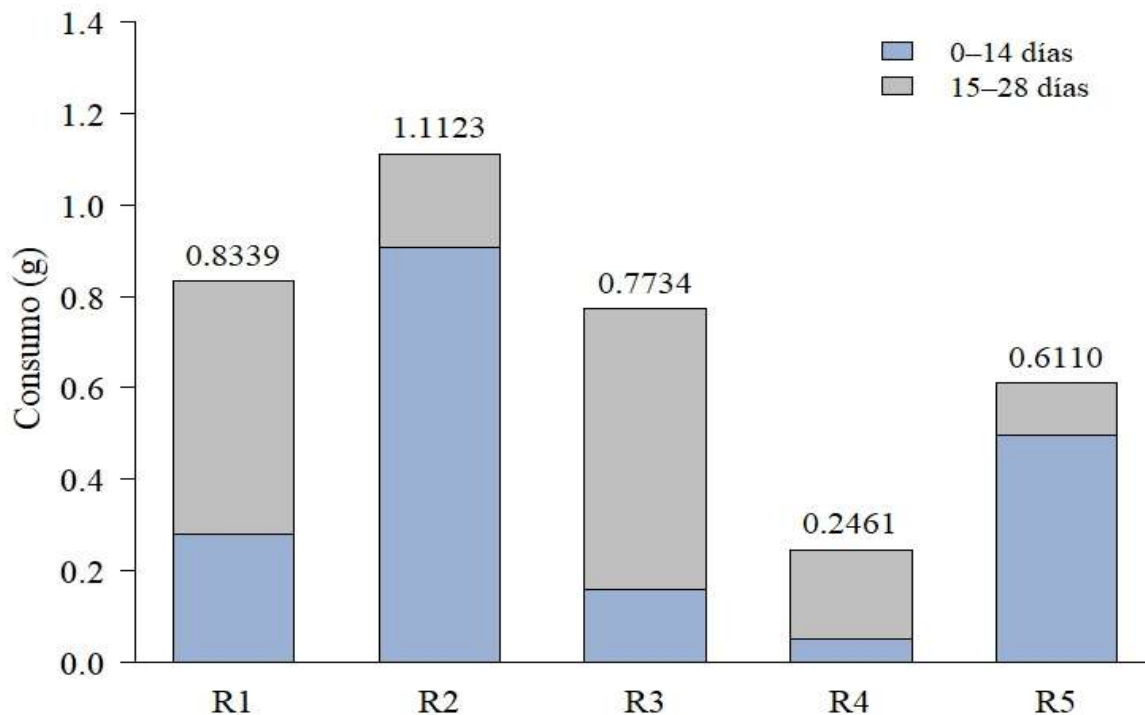
Tabla 5

Consumo de masa del polímero LLDPE (Tecnopor tapper) durante el periodo experimental

Tratamiento	Repetición	Numero de larvas	Tipo de polímero	Peso inicial (g)	Masa del polímero (28 días)	Consumo del polímero (14 días)	Consumo del polímero (28 días)
T3	R1	30	Tecnopor tapper (PS)	5	4.1661	0.2813	0.8339
	R2	30	Tecnopor tapper (PS)	5	3.8877	0.9076	1.1123
	R3	30	Tecnopor tapper (PS)	5	4.2266	0.1598	0.7734
	R4	30	Tecnopor tapper (PS)	5	4.7539	0.0513	0.2461
	R5	30	Tecnopor tapper (PS)	5	4.3890	0.4957	0.6110

Figura 12

Consumo de masa del polímero tecnopor tapper (PS) durante 28 días



3.4. Análisis estadístico de la capacidad biodegradadora.

Se aplicó un análisis estadístico comparativo entre los tratamientos. Dado que el diseño experimental contempló tres tratamientos independientes (T1, T2, T3), cada uno con cinco repeticiones, se optó por realizar comparaciones por pares utilizando la prueba t de Student para muestras independientes.

Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 6 con valores de significancia superiores al nivel crítico de 0.05 (T1: $p = 0.153$; T2: $p = 0.506$; T3: $p = 0.911$), lo que indica que no se rechaza la hipótesis nula de normalidad. Por lo tanto, los datos presentan una distribución normal en los tres tratamientos, permitiendo el uso de pruebas estadísticas paramétricas.

Tabla 6

Prueba de normalidad a los 3 tipos de polímeros

Shapiro -Wilk				
	Tratamiento	Estadístico	gl	Sig
Consumo del polímero	T1	0.836	5	0.153
	T2	0.916	5	0.506
	T3	0.976	5	0.911

Luego de verificar el supuesto de normalidad, se procedió a evaluar la homogeneidad de varianzas entre los grupos mediante la prueba de Levene. Esta prueba permitió comprobar si la variabilidad de los datos es similar entre los tratamientos, Los resultados que se muestran en la siguiente tabla indicaron que no existen diferencias estadísticamente significativas entre las varianzas en todos los casos, los valores de significancia fueron mayores a 0.05, cuando se basó en la media ($p = 0.234$), como en la mediana ($p = 0.564$) y la media recortada ($p = 0.247$) por lo que se cumple este supuesto estadístico.

Tabla 7*Prueba de homogeneidad de varianzas*

		Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
Consumo del polímero	Se basa en la media	1.645	2	12	0.234
	Se basa en la mediana	0.600	2	12	0.564
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	0.600	2	10.223	0.567
	Se basa en la media recortada	1.577	2	12	0.247

Como los datos presentaron una distribución normal (según la prueba de Shapiro-Wilk) y las varianzas fueron homogéneas entre los tratamientos ($p > 0.05$ en la prueba de Levene), se procedió con la aplicación de un análisis ANOVA. Los resultados mostraron que no hubo diferencias significativas entre los tratamientos ($F = 1.859$; $p = 0.198$), lo que indica que el consumo promedio registrado para cada tipo de polímero no difiere de manera significativa en términos estadísticos, el ANOVA no mostró diferencias significativas entre tratamientos ($p = 0.198$), lo que indica que las medias de degradación de LDPE, LLDPE y EPS no difieren.

Tabla 8*Tabla ANOVA del diseño experimental de bloques completamente al azar*

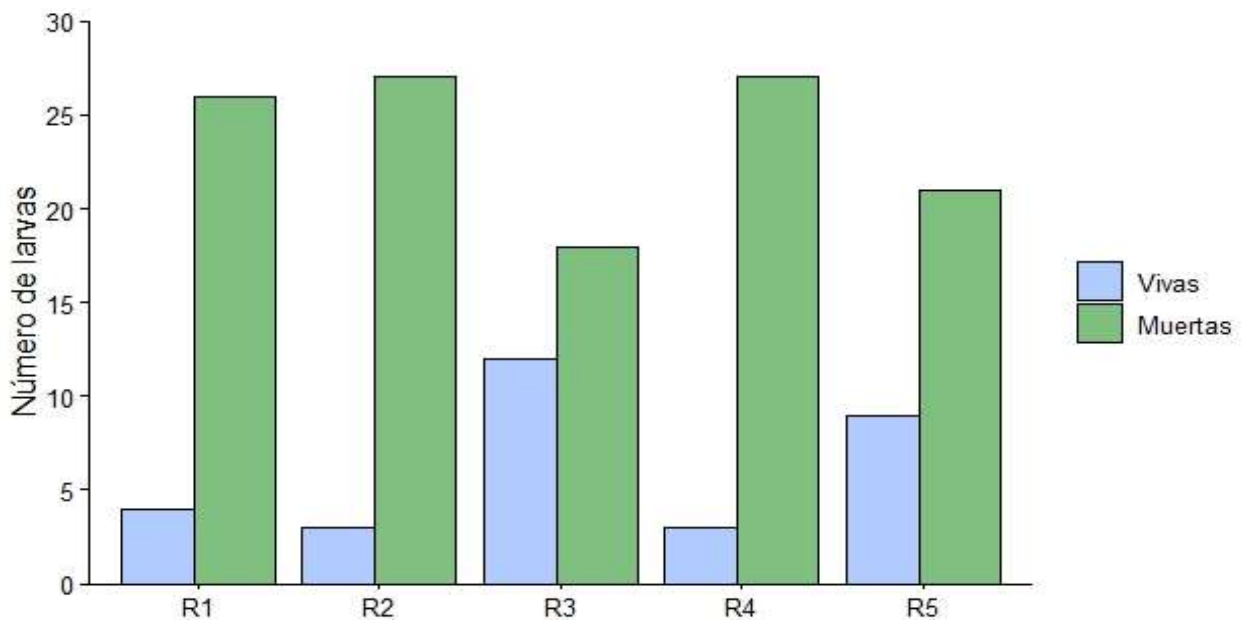
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	0,309	2	0,155	1,859	0,198
Dentro de grupos	0,999	12	0,083		
Total	1,308	14			

3.5.Efecto de la alimentación con polímeros en la biología *Galleria mellonella*.

En el tratamiento T1, correspondiente al polímero “Embalaje para transporte”, se observó una supervivencia promedio del 20.7%. La supervivencia más baja se registró en la repetición R2 y R4, con un porcentaje del 10 %. En contraste, la mayor supervivencia se presentó en R3, con un 40 % de supervivencia en la tabla 9 y en la figura 13 se observan los resultados.

Tabla 9*Supervivencia de Galleria mellonella expuesta a LLDPE (Embalaje para transporte)*

Tratamiento	Repetición	Tipo de polímero	N° inicial de larvas	Larvas vivas (14 días)	Larvas muertas (14 días)	Larvas vivas (28 días)	Larvas muertas (28 días)	Supervivencia
T1	R1	Embalaje para transporte (LLDPE)	30	24	6	4	26	13%
	R2	Embalaje para transporte (LLDPE)	30	22	8	3	27	10%
	R3	Embalaje para transporte (LLDPE)	30	21	9	12	18	40%
	R4	Embalaje para transporte (LLDPE)	30	18	12	3	27	10%
	R5	Embalaje para transporte (LLDPE)	30	20	10	9	21	30%
T0	Control	Dieta natural a base de cera, miel y polen	30	25	5	22	8	73%

Figura 13*Supervivencia de Galleria mellonella alimentadas con embalaje para transporte (LLDPE) durante 28 días*

En la tabla 10 y en la figura 14 se resume los resultados de supervivencia de larvas de *G. mellonella* correspondientes al tratamiento T2 polímero “bolsa plástica”. La repetición R2 registró la mayor supervivencia, con un 30 %, mientras que R4 presentó la más baja, con apenas un 10 %. En promedio, la supervivencia para este tratamiento fue del 20 %, lo que evidencia una variabilidad en la respuesta de las larvas frente a este tipo de polímero.

Tabla 10

Supervivencia de Galleria mellonella alimentada con LDPE (bolsa plástica)

Tratamiento	Repetición	Tipo de polímero	N° inicial de larvas	Larvas Vivas (14 días)	Larvas muertas (14 días)	Larvas vivas (28 días)	Larvas muertas (28 días)	Supervivencia
T2	R1	Bolsa plástica (LDPE)	30	23	7	7	23	23%
	R2	Bolsa plástica (LDPE)	30	21	9	9	21	30%
	R3	Bolsa plástica (LDPE)	30	22	8	5	25	16%
	R4	Bolsa plástica (LDPE)	30	18	12	3	27	10%
	R5	Bolsa plástica (LDPE)	30	19	11	6	24	20%
T0	Control	Dieta natural a base de cera, miel y polen	30	26	4	23	7	76%

Figura 14

Supervivencia de Galleria mellonella alimentadas con LDPE (bolsa plástica) durante 28 días

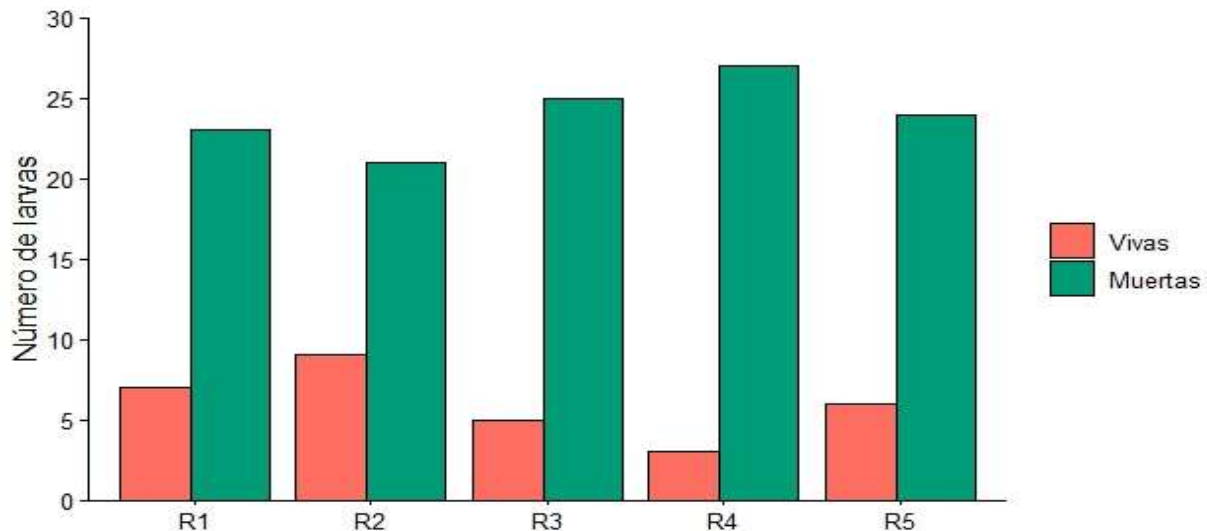
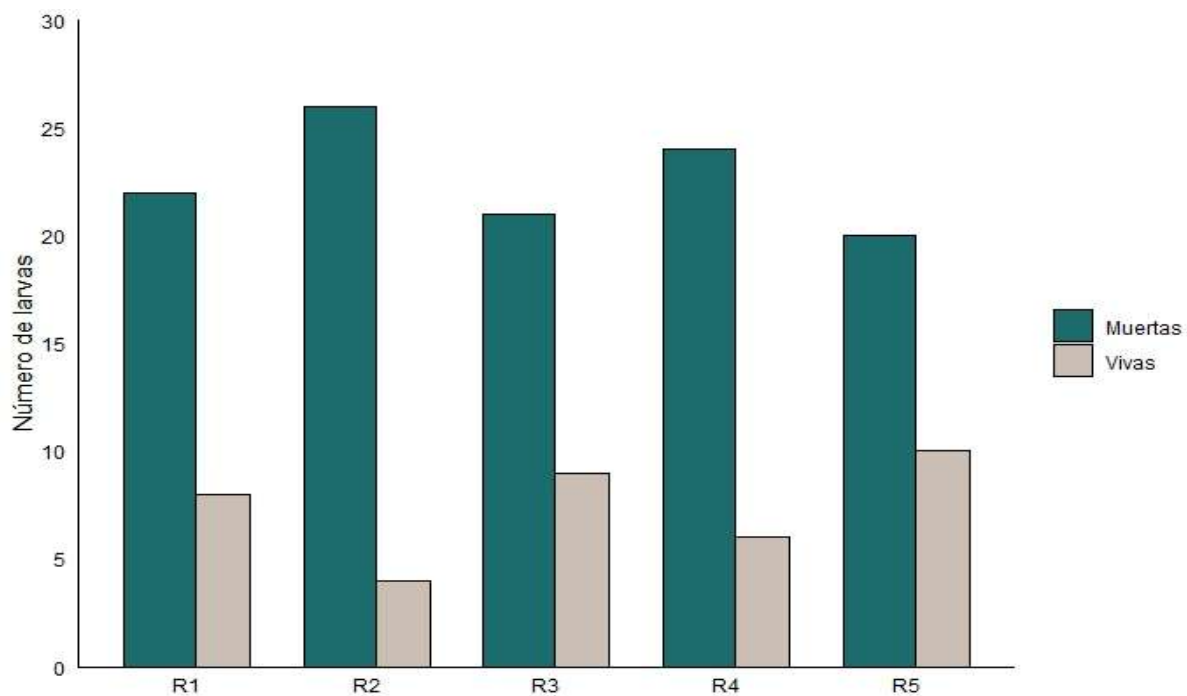


Tabla 11*Supervivencia de Galleria mellonella alimentada con EPS (tecnopor taper)*

Tratamiento	Repetición	Tipo de polímero	N° inicial de larvas	Larvas vivas (14 días)	Larvas muertas (14 días)	Larvas vivas (28 días)	Larvas muertas (28 días)	Supervivencia
T3	R1	Tecnopor taper (EPS)	30	20	10	8	22	26 %
	R2	Tecnopor taper (EPS)	30	22	8	4	26	13 %
	R3	Tecnopor taper (EPS)	30	23	7	9	21	30 %
	R4	Tecnopor taper (EPS)	30	18	12	6	24	20 %
	R5	Tecnopor taper (EPS)	30	20	10	10	20	33%
T0	Control	Dieta natural a base de cera, miel y polen	30	24	6	21	9	70%

La tabla 11 y la figura 15 muestra los resultados de supervivencia de *G. mellonella* con una dieta a base de tecnopor la R2 registró el porcentaje más bajo de supervivencia (13,33 %) y el porcentaje más alto se registró en la R5 con un porcentaje de 33,33%. En conjunto, el promedio de supervivencia para este tratamiento fue de 24,67 %.

Figura 15*Supervivencia de Galleria mellonella alimentadas con tecnopor (PS) durante 28 días*

3.6. Análisis de supervivencia de las larvas.

La tabla 12 y en la figura 16 se presenta los estadísticos descriptivos de la tasa de supervivencia de *Galleria mellonella* dependiendo del tratamiento aplicado. Se observa que en el T3 la media de supervivencia fue de 24,67 %, lo que sugiere que fue el tratamiento con la mayor proporción de larvas vivas. Los tratamientos T1 y T2 presentan medias similares, de 20,67 % y 20 %, respectivamente. En general, el promedio de supervivencia fue de 21,78 %.

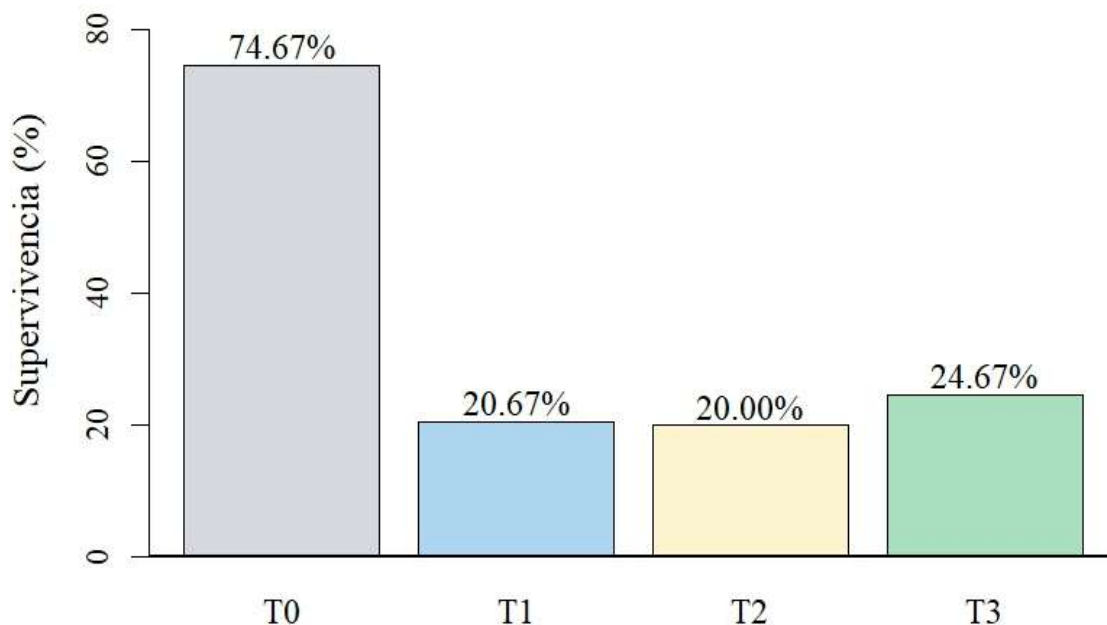
Tabla 12

Supervivencia promedio (%) de Galleria mellonella bajo diferentes tratamientos con polímeros comerciales y dieta natural (control)

Tratamiento	Descripción	Supervivencia Promedio (%)
T0	Dieta natural a base de cera, miel y polen(control)	74.67
T1	Embalaje para transporte (LLDPE)	20.67
T2	Bolsa plástica (LDPE)	20
T3	Tecnopor tapper (EPS)	24.67

Figura 16

Porcentaje de supervivencia de larvas de Galleria mellonella alimentadas con diferentes tipos de dieta



En la Tabla 13 se muestran los resultados de la prueba de normalidad (Shapiro-Wilk) aplicada a los valores de supervivencia de los tres tratamientos. Los resultados obtenidos de esta prueba muestran que los valores de significancia ($p > 0.05$) en todos los casos los valores de p son mayores a 0.05, por lo tanto, no se rechaza la hipótesis nula los datos tienen una distribución normal.

Tabla 13

Prueba de normalidad (Shapiro-Wilk)

Tratamiento	Estadístico	gl	Sig.
T1	0,826	5	0,131
T2	0,999	5	1,000
T3	0,957	5	0,787

La prueba de Levene se aplicó con el fin de evaluar el cumplimiento del supuesto de homogeneidad de varianzas entre los tres tratamientos en relación con su tasa del porcentaje de supervivencia. Los valores de significancia ($p > 0.05$) en todas las variantes de la prueba de Levene indican que no existen diferencias estadísticamente significativas entre las varianzas de los grupos como se indica en la tabla 14. Por lo tanto, se cumple el supuesto de homogeneidad de varianzas, y es adecuado aplicar t de Student para comparar la tasa de supervivencia entre tratamientos.

Tabla 14

Prueba de homogeneidad de varianzas de Levene para la tasa de supervivencia larval entre tratamientos

		Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
Tasa_superv	Se basa en la media	2.958	2	12	0.090
	Se basa en la mediana	0.555	2	12	0.588
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	0.555	2	6.848	0.598
	Se basa en la media recortada	2.696	2	12	0.108

Los resultados de la tabla 15 muestran que el valor de significancia Sig (0,737). Esto indica que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los tres tratamientos en cuanto a la tasa de supervivencia de las larvas. El valor del estadístico $F = 0,313$, también refleja una baja variación entre grupos en relación con la variación dentro de los grupos.

Tabla 15

*Resultados del análisis de varianza (ANOVA) de un factor aplicado a la tasa de supervivencia (%) de larvas de *Galleria mellonella**

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	63.704	2	31.852	0.313	0.737
Dentro de grupos	1222.222	12	101.852		
Total	1285.926	14			

IV. DISCUSIÓN.

4.1. Condiciones de crecimiento y desarrollo de *Galleria mellonella*.

Los resultados de la presente investigación indican que la temperatura óptima para el crecimiento de *G. mellonella* es de 26,5 °C. Este hallazgo coincide con lo reportado por Marquina y Carbajal (2017), quienes establecen un límite inferior de 21 °C y un límite superior de 33 °C como lo adecuado para la cría de *G. mellonella*, debido a que en temperaturas inferiores la duración del ciclo de desarrollo se prolonga significativamente, alcanzando hasta 87,8 días, lo que puede atribuirse a una ralentización del metabolismo larval. Mientras que, a temperaturas más elevadas se acelera el desarrollo, reduciendo el ciclo a 45,85 días. El control térmico en la fase de cría en laboratorio es fundamental, ya que variaciones en la temperatura pueden alterar la duración de las etapas inmaduras y la supervivencia larval (Cardoso *et al.*, 2007).

En cuanto a la humedad relativa (HR) se estableció el nivel de 50 % como el más adecuado, este valor se ubica dentro del rango óptimo de 44 –50 % HR descrito para el desarrollo larval

de *G. mellonella* (Borah *et al.*, 2024). Esta variable se considera como crítica por que un inadecuado manejo genera la proliferación de hongos que podrían interferir negativamente en el crecimiento y desarrollo de las larvas (Büyükgüzel & Büyükgüzel, 2016); la temperatura y la humedad se mantuvieron de forma constante durante la fase experimental.

Otro aspecto clave para el desarrollo de *Galleria mellonella* es el control de la exposición a la luz, en este estudio las larvas se mantuvieron en oscuridad continua, ya que esta especie presenta una marcada preferencia por ambientes oscuros, recreando así las condiciones naturales de cría de *Galleria mellonella* (Kwadha *et al.*, 2017). Otra causa para aplicar esto se debe a que la exposición a la luz reduce significativamente el tamaño de las larvas (Vital-Vilchis & Karunakaran, 2025) y altera el periodo natural de metamorfosis, haciendo referencia a cómo la exposición a la luz modifica la sincronización y la duración del ciclo biológico alterando las diferentes etapas de transformación de la larva a pupa y de pupa a adulto (Gouliamova *et al.*, 2025).

4.2. Degradación de polímeros por *Galleria mellonella*.

Los resultados de este estudio amplían el conocimiento sobre la capacidad de *Galleria mellonella* para degradar plásticos al incorporar por primera vez el polietileno lineal de baja densidad (LLDPE) en las evaluaciones *in vivo*. Mientras investigaciones previas demostraron que el poliestireno (PS) sufre una pérdida de masa del 56,12 % y el polietileno de baja densidad (LDPE) apenas el 5,11 % tras la exposición a las larvas (Burd *et al.*, 2023), los hallazgos de esta investigación confirman la degradación en LLDPE, subrayando la influencia decisiva de las propiedades físico-mecánicas de cada polímero sobre la eficacia degradativa.

En este contexto, comprender los procesos de biodegradación requiere partir del papel que desempeña la saliva de *Galleria mellonella*, la cual es capaz de inducir la oxidación y despolimerización de los polímeros, facilitando así su posterior degradación. Este hallazgo representa el primer caso reportado en insectos con dicha capacidad, lo que resalta la singularidad de esta especie en el contexto de la degradación de plásticos (Sanluis-Verdes *et al.*, 2022).

Además de la acción de su saliva, se ha demostrado que el microbioma intestinal de *Galleria mellonella* cumple un rol clave en la biodegradación del polietileno *in vivo* (Cassone *et al.*, 2020). Estas larvas no solo son capaces de ingerir el LDPE, sino también de transformarlo en energía a través de su propio metabolismo, lo que confirma su potencial como organismo modelo en estudios de degradación de polímeros (Kehkashan *et al.*, 2025).

Las larvas de *Galleria mellonella* presentan un patrón de alimentación que varía según su etapa de desarrollo. En las fases larvales tempranas, el consumo de alimento es significativamente más elevado, ya que durante este periodo las larvas necesitan acumular grandes cantidades de energía para sostener su crecimiento acelerado. Esta intensa actividad alimentaria responde a las exigencias metabólicas del desarrollo y a la preparación para su posterior transformación (Rana & Lovleen, 2021). Lo que explica porque durante los primeros 14 días de evaluación se obtuvo mayor grado de consumo en los diferentes tipos de polímeros en esta investigación.

La diferencia en el consumo de polímeros por parte de las larvas de *Galleria mellonella* se explica por las características físicas propias de cada material. En el caso del embalaje para transporte (LLDPE), su alta elasticidad dificultó que las larvas pudieran morder y fragmentar el polímero, limitando así su alimentación y resultando en un menor nivel de degradación. Por el contrario, la bolsa plástica (LDPE) presentó una textura más accesible para las larvas, permitiendo una mayor mordedura y, consecuentemente, un mayor consumo. De manera similar, el tecnopor táper (PS) también mostró una estructura que facilitó la acción de las larvas, registrando un nivel de consumo comparable al observado en la bolsa plástica.

4.3. Efecto en la alimentación con polímero para *Galleria mellonella*.

Una de las razones clave para utilizar *Galleria mellonella* en la investigación sobre biodegradación de plásticos es su capacidad para alimentarse de materiales plásticos (Bertocchini & Arias, 2023). En el presente estudio, se obtuvo una tasa promedio de supervivencia de 21,78 %, lo que indica que la alimentación exclusiva con los polímeros ensayados resulta insuficiente para satisfacer los requerimientos nutricionales de las larvas. Por ello, Lou *et al.* (2020) recomiendan el uso de una dieta complementaria con el fin de incrementar el porcentaje de degradación y reducir la tasa de mortalidad.

Así mismo la temperatura es un factor determinante en la alimentación de *Galleria mellonella*, tal como lo demuestra el estudio de Dhakal *et al* (2020). En esta investigación comparativa se evidenció que la eficiencia alimentaria de la especie varía significativamente entre las estaciones de verano e invierno. Durante el invierno, caracterizado por temperaturas más bajas, se observa una reducción en el consumo de sustrato, acompañada de un aumento tanto en las tasas de mortalidad como en el comportamiento caníbal entre las larvas, en contraste con las condiciones observadas en verano. Por esta razón, para garantizar un comportamiento alimenticio óptimo y minimizar el impacto de factores externos, es fundamental mantener un control riguroso de la temperatura durante todo el desarrollo del ensayo.

Por otro lado, se observó canibalismo en los tratamientos, dado que, aunque las larvas provenían del mismo lote y se criaron bajo las mismas condiciones, presentaban tamaños variables con hembras generalmente mayores que los machos, lo cual puede influir en la competencia por alimento (Wojda *et al.*, 2020).

Burd *et al* (2023), evaluaron la capacidad de *Galleria mellonella* para degradar poliestireno (PS) y polietileno de baja densidad (LDPE). En dichos ensayos, la tasa de supervivencia larvaria alcanzó un 60 % con PS y un 82 % con LDPE. Este notable desempeño se atribuye principalmente a los pretratamientos aplicados a los materiales facilitando su ingestión y posterior degradación enzimática por parte de las larvas. Esto pone de manifiesto la necesidad de desarrollar un protocolo estandarizado para la aplicación de pretratamientos a los plásticos, con el fin de maximizar su eficiencia.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

5.1. Conclusiones.

- Los resultados obtenidos no solo confirman la capacidad biodegradadora de *Galleria mellonella*, sino que también evidencian la necesidad de estandarizar condiciones ambientales y dietéticas para su aplicación práctica. Esta investigación aporta una base experimental que puede ser utilizada en futuras estrategias de control biotecnológico de residuos plásticos, resaltando el valor de transformar una especie considerada plaga en un recurso útil para enfrentar uno de los principales problemas ambientales actuales.

- *Galleria mellonella* degrada los tres tipos de polímeros con una eficiencia muy similar; el análisis estadístico mostró que no hay diferencias significativas entre ellos, lo que indica que esta especie tiene una capacidad uniforme para degradar distintos plásticos. Esto es muy relevante, porque abre la posibilidad de usarla para tratar diferentes tipos de residuos poliméricos.
- La dieta basada en cada polímero influye en la tasa de supervivencia de las larvas. Esto sugiere que se debe mejorar las dietas, por ejemplo, una combinación de dietas, podría aumentar la supervivencia y, con ello, la efectividad del proceso de biodegradación cuando se use en condiciones controladas.
- *Galleria mellonella* no solo reduce la masa de los polímeros, sino que también altera sus superficies por medio de mecanismos físicos y enzimáticos. La variación en la velocidad de degradación según las propiedades del material confirma que el tipo de polímero es clave para optimizar su biodegradación, lo que abre nuevas oportunidades para aplicaciones biotecnológicas en el manejo de residuos plásticos.

5.2. Recomendaciones

- Para optimizar la eficiencia de biodegradación de polímeros mediante el uso de larvas de *Galleria mellonella*, se recomienda aplicar un pretratamiento riguroso a los plásticos, con el objetivo de facilitar su consumo por parte de las larvas.
- Asimismo, se debe estandarizar el desarrollo y crecimiento larval mediante la implementación de protocolos de cría controlados con fines de investigación. Lo más adecuado es iniciar el proceso con polillas adultas y recolectar sus huevos, garantizando que todas las larvas utilizadas en los ensayos presenten características similares, minimizando así las variaciones en los estadios larvales.

- Respecto a los recipientes experimentales, estos deben ser diseñados utilizando malla metálica, debido a la alta capacidad de destrucción de las larvas sobre materiales más frágiles, como telas o plásticos ligeros.
- Se recomienda trabajar con dosis pequeñas de polímero, siendo lo más apropiado 5 gramos, dado que los polímeros, a pesar de su bajo peso, presentan volúmenes elevados que dificultan la movilidad de las larvas.
- Se debe emplear un número adecuado de larvas, considerando la cantidad de polímero (alimento) y el espacio del recipiente. Una cantidad excesiva de larvas incrementa el contacto físico entre ellas, lo que puede favorecer el canibalismo, incluso si todas son de la misma edad y tamaño.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Bertocchini, F. & Arias, C. F. (2023). Why have we not yet solved the challenge of plastic degradation by biological means? *PLoS biology*, 21(3), e3001979. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PBIO.3001979>
- Bombelli, P., Howe, C. J. & Bertocchini, F. (2017). Polyethylene biodegradation by caterpillars of the wax moth *Galleria mellonella*. *Current Biology*, 27(8), R292-R293. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2017.02.060>
- Borah, A., Koundal, S. & Gharde, S. K. (2024). Effect of biotic and abiotic factors on the abundance of greater wax moth, *Galleria mellonella* L. *International Journal of Advanced Biochemistry Research*, 8(7), 772-781. <https://doi.org/10.33545/26174693.2024.V8.I7J.1587>
- Boschi, A., Scieuzo, C., Salvia, R., Arias, C. F., Perez, R. P., Bertocchini, F. & Falabella, P. (2023). Beyond Microbial Biodegradation: Plastic Degradation by *Galleria mellonella*. *Journal of Polymers and the Environment* 2023 32:5, 32(5), 2158-2177. <https://doi.org/10.1007/S10924-023-03084-6>
- Burd, B. S., Mussagy, C. U., de Lacorte Singulani, J., Tanaka, J. L., Scontri, M., Brasil, G. S. P., Guerra, N. B., Assato, P. A., De Sousa Abreu, A. P., Bebber, C. C., Terra-Garcia, M., Junqueira, J. C., Farhadi, N., Almeida, A. M. F., Mendes - Giannini, M. J. S., Li, B. & Herculano, R. D.

- (2023). *Galleria Mellonella* Larvae as an Alternative to Low-Density Polyethylene and Polystyrene Biodegradation. *Journal of Polymers and the Environment*, 31(3), 1232-1241. <https://doi.org/10.1007/S10924-022-02696-8>
- Büyükgüzel, E. & Büyükgüzel, K. (2016). Effects of Antiviral Agent, Acyclovir, on the Biological Fitness of *Galleria mellonella* (Lepidoptera: Pyralidae) Adults. *Journal of Economic Entomology*, 109(5), 2090-2095. <https://doi.org/10.1093/JEE/TOW174>
- Cardoso, A. C., Prata, M. C. D. A., Furlong, J. & Prezoto, E. F. (2007). Exigências térmicas de estágios imaturos de *Galleria mellonella* L. (Lepidoptera: Pyralidae). *Neotropical Entomology*, 36(5), 657-661. <https://doi.org/10.1590/S1519-566X2007000500004>
- Cassone, B. J., Grove, H. C., Elebute, O., Villanueva, S. M. P. & LeMoine, C. M. R. (2020). Role of the intestinal microbiome in low-density polyethylene degradation by caterpillar larvae of the greater wax moth, *Galleria mellonella*. *Proceedings of the Royal Society B*. <https://doi.org/10.1098/RSPB.2020.0112>
- de Sousa, F. D. B. (2021). The role of plastic concerning the sustainable development goals: The literature point of view. *Cleaner and Responsible Consumption*, 3, 100020. <https://doi.org/10.1016/J.CLRC.2021.100020>
- Dhakal, S., Panthi, S., Khanal, B. K., Pandey, L. & Bhattarai, S. S. (2020). The Feeding Potential of Greater Wax Moth (*Galleria mellonella*) in Different Gauzes of Plastics. *International Journal of Applied Sciences and Biotechnology*, 8(2), 235-240. <https://doi.org/10.3126/IJASBT.V8I2.29594>
- Gouliamova, E., Boekhout, T., Vital-Vilchis, I. & Karunakaran, E. (2025). Using Insect Larvae and Their Microbiota for Plastic Degradation. *Insects 2025*, Vol. 16, Page 165, 16(2), 165. <https://doi.org/10.3390/INSECTS16020165>
- Horton, A. A. (2022). Plastic pollution: When do we know enough? *Journal of Hazardous Materials*, 422, 126885. <https://doi.org/10.1016/J.JHAZMAT.2021.126885>
- Jansen, M. A. K., Andrady, A. L., Bornman, J. F., Aucamp, P. J., Bais, A. F., Banaszak, A. T., Barnes, P. W., Bernhard, G. H., Bruckman, L. S., Busquets, R., Häder, D. P., Hanson, M. L., Heikkilä, A. M., Hylander, S., Lucas, R. M., Mackenzie, R., Madronich, S., Neale, P. J., Neale,

- R. E., ... Zhu, L. (2024). Plastics in the environment in the context of UV radiation, climate change and the Montreal Protocol: UNEP Environmental Effects Assessment Panel, Update 2023. *Photochemical & Photobiological Sciences* 2024 23:4, 23(4), 629-650. <https://doi.org/10.1007/S43630-024-00552-3>
- Kehkashan, Hussain, A., Murtaza, M., Lee, G. J., Mun, B. G. & Yun, B. W. (2025). Low and high-density polyethylene and expanded polystyrene biodegradation by the greater wax moth *Galleria mellonella* L reveals a key role of the gut microbiome. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 294, 118074. <https://doi.org/10.1016/J.ECOENV.2025.118074>
- Kwadha, C. A., Ong'Amo, G. O., Ndegwa, P. N., Raina, S. K. & Fombong, A. T. (2017). The Biology and Control of the Greater Wax Moth, *Galleria mellonella*. *Insects 2017, Vol. 8, Page 61*, 8(2), 61. <https://doi.org/10.3390/INSECTS8020061>
- Lou, Y., Ekaterina, P., Yang, S. S., Lu, B., Liu, B., Ren, N., Corvini, P. F. X. & Xing, D. (2020). Biodegradation of Polyethylene and Polystyrene by Greater Wax Moth Larvae (*Galleria mellonella* L.) and the Effect of Co-diet Supplementation on the Core Gut Microbiome. *Environmental Science and Technology*, 54(5), 2821-2831. <https://doi.org/10.1021/ACS.EST.9B07044>,
- Marquina, R. & Carbajal, A. (2017). Efecto de la temperatura en el ciclo de desarrollo de *Galleria mellonella* (Lepidóptera Pyralidae). *Revista de Investigación Científica REBIOL, ISSN-e 2313-3171, Vol. 37, No. 2, 2017 (Ejemplar dedicado a: REVISTA DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA (REBIOL))*, págs. 63-69, 37(2), 63-69. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8143221&info=resumen&idioma=SPA>
- Mitra, B., Das, A., Mitra, B. & Das, A. (2023). The Ability of Insects to Degrade Complex Synthetic Polymers. *Arthropods - New Advances and Perspectives*. <https://doi.org/10.5772/INTECHOPEN.106948>
- PLASTICS EUROPE. (2022. septiembre). Plásticos - Situación en 2023 - Plastics Europe ES. <https://plasticseurope.org/knowledge-hub/plastics-the-fast-facts-2024/>
- Rana, N. & Lovleen, L. (2021). Wax moth *Galleria mellonella*: Blessing or blight. *Journal of Entomological Research*, 45(1), 105. <https://doi.org/10.5958/0974-4576.2021.00017.7>

- Sanluis-Verdes, A., Colomer-Vidal, P., Rodriguez-Ventura, F., Bello-Villarino, M., Spinola-Amilibia, M., Ruiz-Lopez, E., Illanes-Vicioso, R., Castroviejo, P., Aiese Cigliano, R., Montoya, M., Falabella, P., Pesquera, C., Gonzalez-Legarreta, L., Arias-Palomo, E., Solà, M., Torroba, T., Arias, C. F. & Bertocchini, F. (2022). Wax worm saliva and the enzymes therein are the key to polyethylene degradation by *Galleria mellonella*. *Nature Communications* 2022 13:1, 13(1), 1-11. <https://doi.org/10.1038/s41467-022-33127-w>
- Trigo, A., Valencia, A. & Cases, I. (2009). Systemic approaches to biodegradation. *FEMS Microbiology Reviews*, 33(1), 98-108. <https://doi.org/10.1111/J.1574-6976.2008.00143.X>
- Vital-Vilchis, I. & Karunakaran, E. (2025). Using Insect Larvae and Their Microbiota for Plastic Degradation. *Insects* 2025, Vol. 16, Page 165, 16(2), 165. <https://doi.org/10.3390/INSECTS16020165>
- Wojda, I., Staniec, B., Sułek, M. & Kordaczuk, J. (2020). The greater wax moth *Galleria mellonella*: biology and use in immune studies. *Pathogens and Disease*, 78(9), ftaa057. <https://doi.org/10.1093/FEMSPD/FTAA057>
- Wu, Z., Shi, W., Valencak, T. G., Zhang, Y., Liu, G. & Ren, D. (2023). Biodegradation of conventional plastics: Candidate organisms and potential mechanisms. *Science of The Total Environment*, 885, 163908. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2023.163908>

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi profundo agradecimiento al Dr. Alexander Huamán Mera y al Dr. Manuel Alejandro Ix Balam, mis asesores de tesis, por el apoyo que me brindaron a lo largo del desarrollo de este proyecto. Agradezco especialmente su tiempo, compromiso, paciencia y profesionalismo.

Agradezco al equipo del laboratorio de Biotecnología, Genética y Biología Molecular, así como al laboratorio de Biología, por permitirme el uso de sus espacios y de sus equipos para el desarrollo de mi investigación. Su colaboración ha sido crucial para la ejecución de esta tesis

DEDICATORIA

Con profunda gratitud, dedico esta tesis a Dios, que en su infinita bondad me acompañó en cada paso y me concedió la fuerza y el ánimo para continuar adelante ante cada desafío que se presentó a lo largo de este proceso.

A mis padres Isabel y Aníbal, gracias por guiarme en este camino, por su amor incondicional y por su apoyo constante. Gracias por ser el pilar que ha sostenido cada uno de mis esfuerzos y la inspiración que me ha impulsado a seguir adelante. Gracias por recordarme, una y otra vez, el valor de la unión familiar y por demostrarme que, sin importar las circunstancias, siempre puedo confiar en ustedes. Su fe en mí, incluso en los momentos en que yo misma dudaba, y su constante compañía fueron mi aliento en cada etapa de este camino.

A mis hermanos Carla, Tatiana y Dylan, gracias por su apoyo, por sus consejos sinceros y por darme tanto sin esperar nada a cambio. Gracias por estar presentes, de una u otra forma, en cada logro alcanzado.

Cada esfuerzo, cada logro y cada sueño alcanzado llevan impreso el profundo amor que siento por ustedes. Este trabajo es, ante todo, un testimonio de todo lo que hemos construido juntos.

ANEXOS

Anexo 1. Registro de masa de polímeros

Ficha N°1		REGISTRO DE MASA DEL POLÍMERO						
Datos del investigador Nombres y Apellidos:							Instrumento: Balanza analítica	
N°	Identificación	Repetición	Tipo de polímero	Masa inicial (gr)	Masa 14 días (gr)	Observación	Masa 28 días (gr)	Observación
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								

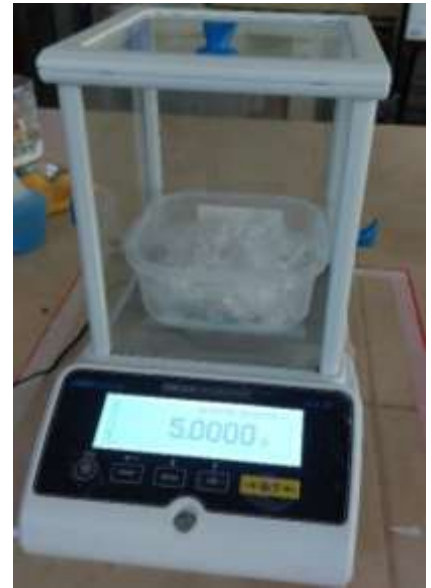
Anexo 2. Tasa de supervivencia.

Ficha N°2		TASA DE SUPERVIVENCIA						
Datos del investigador Nombres y Apellidos:							Instrumento: Balanza analítica	
N°	Tratamiento	Repetición	Fecha	Tiempo (días)	N° larvas vivas	N° larvas muertas	Cambio de fase	Observación
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								
11								
12								
13								
14								
15								
16								
17								
18								
19								
20								
21								
22								

Anexo 3. Control de condiciones ambientales del laboratorio

Ficha N°4		CONTROL DE CONDICIONES AMBIENTALES DEL LOCAL		
Datos del investigador Nombres y Apellidos:				Instrumento: Higrómetro
Tiempo (días)	Horas	Temperatura (°C)	Humedad d relativa (%)	Observación
	9:00 am			
	12:00 pm			
	4:00 pm			
Promedio				

ANEXO 4. Peso inicial (5,0000 g) para los 3 tipos de polímeros evaluados.



ANEXO 5. Tratamientos y repeticiones.



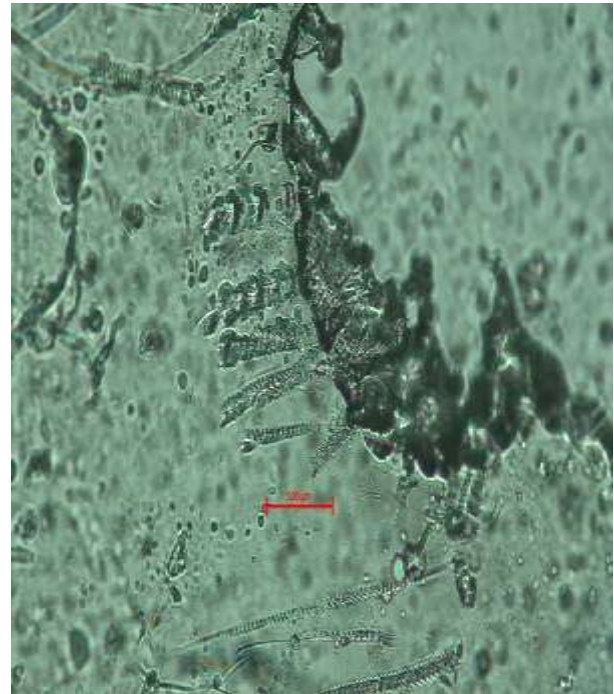
ANEXO 6. Control de peso de los polímeros.



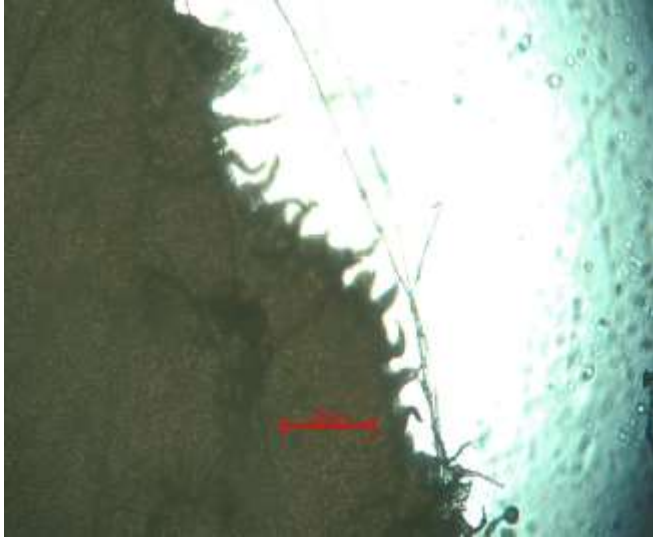
ANEXO 7. Degradación de los polímeros por parte de *Galleria mellonella*



Tecnopor tapper (EPS)

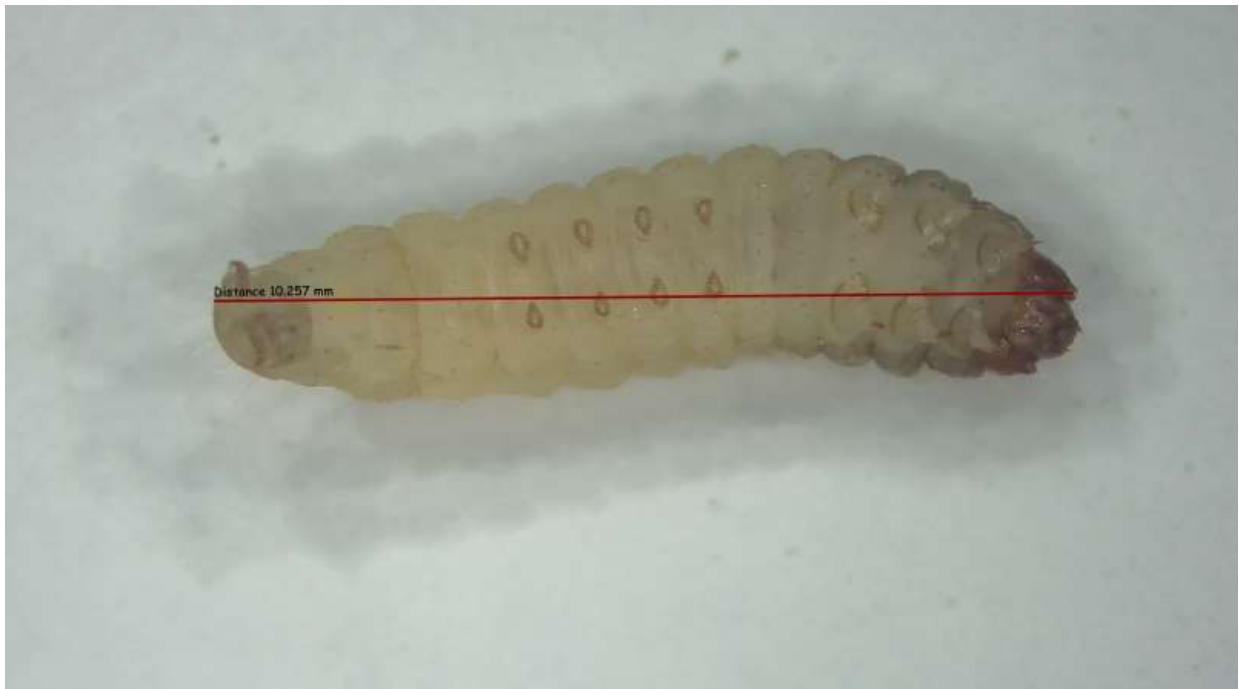


Embalaje para trasporte (LLDPE)



Bolsa plástica (LDPE)

ANEXO 8. Registro fotográfico del tamaño larval en condiciones de laboratorio.



ANEXO 9. Patas torácicas verdaderas de *Galleria mellonella*.



ANEXO 10. Patas abdominales falsas o pseudópodos de *Galleria mellonella*.



ANEXO 11. Resultados del análisis anova en el Software IBM SPSS para el consumo de los polímeros.

Pruebas de normalidad

	Tratamiento	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Consumo_del_Polimero	T1	,261	5	,200 [*]	,836	5	,153
	T2	,256	5	,200 [*]	,916	5	,506
	T3	,172	5	,200 [*]	,976	5	,911

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

→ Unidireccional

Prueba de homogeneidad de varianzas						
		Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.	
Consumo_del_Polimero	Se basa en la media	1,645	2	12	,234	
	Se basa en la mediana	,600	2	12	,564	
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	,600	2	10,223	,567	
	Se basa en la media recortada	1,577	2	12	,247	

ANOVA

Consumo_del_Polimero

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	,309	2	,155	1,859	,198
Dentro de grupos	,999	12	,083		
Total	1,308	14			

```
SAVE OUTFILE='C:\Users\maxru\Desktop\datos spss\polimeros.sav'
/COMPRESSED.
```

ANEXO 12. Resultados del análisis anova el Software IBM SPSS para la sobrevivencia de larvas de *Galleria mellonella*.

```
GET
  FILE='C:\Users\maxru\Desktop\datos spss\datos de supervivencia de las larvas.sav'.
DATASET NAME ConjuntoDatos1 WINDOW=FRONT.
ONEWAY Vivas BY Tratamiento
  /STATISTICS DESCRIPTIVES HOMOGENEITY
  /PLOT MEANS
  /MISSING ANALYSIS.
```

Efectúe una doble pulsación para activar

Unidireccional

[ConjuntoDatos1] C:\Users\maxru\Desktop\datos spss\datos de supervivencia de las larvas.sav

N° de larvas Vivas		95% del intervalo de confianza para la media						
	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error	Límite inferior	Límite superior	Mínimo	Máximo
T1	5	6,2000	4,08656	1,82757	1,1259	11,2741	3,00	12,00
T2	5	6,0000	2,23607	1,00000	3,2236	8,7764	3,00	9,00
T3	5	7,4000	2,40832	1,07703	4,4097	10,3903	4,00	10,00
Total	15	6,5333	2,87518	,74237	4,9411	8,1256	3,00	12,00

Prueba de homogeneidad de varianzas

		Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
N° de larvas Vivas	Se basa en la media	2,958	2	12	,090
	Se basa en la mediana	,555	2	12	,588
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	,555	2	6,848	,598
	Se basa en la media recortada	2,696	2	12	,108

ANOVA

N° de larvas Vivas		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos		5,733	2	2,867	,313	,737
Dentro de grupos		110,000	12	9,167		
Total		115,733	14			