

UNIVERSIDAD CATÓLICA SEDES SAPIENTIAE
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRARIA



Cantidad óptima de larvas del “gusano de la cera” *Galleria mellonella* L. en biodegradación del polietileno de baja densidad

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

AUTORES

Mac Neil Chávez Mestanza

Betty Lizana Nicolás

ASESOR

Denis Izquierdo Hernández

Rioja, Perú
2022

METADATOS COMPLEMENTARIOS**Datos de los Autores****Autor 1**

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	
Número de Orcid (opcional)	

Autor 2

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	
Número de Orcid (opcional)	

Autor 3

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	
Número de Orcid (opcional)	

Autor 4

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	
Número de Orcid (opcional)	

Datos de los Asesores**Asesor 1**

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	
Número de Orcid (Obligatorio)	

Asesor 2

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	
Número de Orcid (Obligatorio)	

Datos del Jurado

Presidente del jurado

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	

Segundo miembro

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	

Tercer miembro

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	

Datos de la Obra

Materia*	
Campo del conocimiento OCDE Consultar el listado:	
Idioma	
Tipo de trabajo de investigación	
País de publicación	
Recurso del cual forma parte (opcional)	
Nombre del grado	
Grado académico o título profesional	
Nombre del programa	
Código del programa Consultar el listado:	

***Ingresar las palabras clave o términos del lenguaje natural (no controladas por un vocabulario o tesauro).**

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

ACTA N° 020 - 2023/UCSS/FIA/DI

Siendo las 10:00 a.m. del día 09 de marzo de 2023 a través de la plataforma virtual zoom de la Universidad Católica Sedes Sapientiae, el Jurado de Tesis integrado por:

- | | |
|---------------------------------|-----------------|
| 1. Amada Victoria Larco Aguilar | presidente |
| 2. Fredy Román Paredes Aguirre | primer Miembro |
| 3. Armando Chiclla Salazar | segundo Miembro |
| 4. Denis Izquierdo Hernández | asesor |

Se reunieron para la sustentación virtual de la tesis titulada **Cantidad óptima de larvas del “gusano de la cera” *Galleria mellonella* L. en biodegradación del polietileno de baja densidad** que presentan los bachilleres en Ciencias Ambientales, **Mac Neil Chávez Mestanza y Betty Lizana Nicolás**, cumpliendo así con los requerimientos exigidos por el reglamento para la modalidad de titulación; la presentación y sustentación de un trabajo de investigación original, para obtener el Título Profesional de **Ingeniero Ambiental**.

Terminada la sustentación y luego de deliberar, el Jurado acuerda:

APROBAR

DESAPROBAR

La tesis, con el calificativo de **BUENA** y eleva la presente Acta al Decanato de la Facultad de Ingeniería Agraria, a fin de que se declare **EXPEDITA** para conferirle el **TÍTULO** de **INGENIERO AMBIENTAL**.

Lima, 09 de marzo de 2023.



Amada Victoria Larco Aguilar
PRESIDENTE



Fredy Román Paredes Aguirre
1° MIEMBRO



Armando Chiclla Salazar
2° MIEMBRO



Denis Izquierdo Hernández
ASESOR

Anexo 2

CARTA DE CONFORMIDAD DEL ASESOR(A) DE TESIS / INFORME ACADÉMICO/ TRABAJO DE INVESTIGACIÓN/ TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL CON INFORME DE EVALUACIÓN DEL SOFTWARE ANTIPLAGIO

Nueva Cajamarca, 04 de octubre de 2023

Señor(a),

Wilfredo Mendoza Caballero

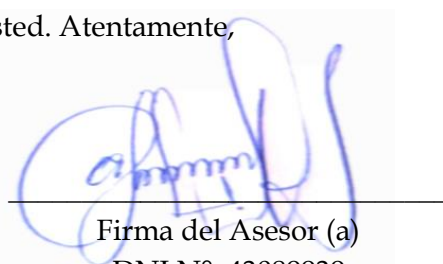
Jefe del Departamento de Investigación/ Coordinador Académico de Unidad de Posgrado
Facultad / Escuela de Ingeniería Agraria - UCSS

Reciba un cordial saludo.

Sirva el presente para informar que **la tesis** / informe académico/ trabajo de investigación/ trabajo de suficiencia profesional, bajo mi asesoría, con título: Cantidad óptima de larvas del "gusano de la cera" *Galleria mellonella* L. en biodegradación del polietileno de baja densidad, presentado por Betty Lizana Nicolás con código de estudiante 2014101850 y DNI 74039751 y Mac Neil Chávez Mestanza con código de estudiante 2014101816 y DNI 75724883 para optar **el título profesional/** grado académico de Ingeniero Ambiental ha sido revisado en su totalidad por mi persona y **CONSIDERO** que el mismo se encuentra **APTO** para ser sustentado ante el Jurado Evaluador.

Asimismo, para garantizar la originalidad del documento en mención, se le ha sometido a los mecanismos de control y procedimientos antiplagio previstos en la normativa interna de la Universidad, **cuyo resultado alcanzó un porcentaje de similitud de 0 %** (poner el valor del porcentaje)*. Por tanto, en mi condición de asesor(a), firmo la presente carta en señal de conformidad y **adjunto el informe de similitud del Sistema Antiplagio Turnitin**, como evidencia de lo informado.

Sin otro particular, me despido de usted. Atentamente,



Firma del Asesor (a)

DNI N°: 43089939

ORCID: 0000-0002-8346-6580

Facultad de Ingeniería Agraria

UCSS

(*) De conformidad con el artículo 8°, del Capítulo 3 del Reglamento de Control Antiplagio e Integridad Académica para trabajos para optar grados y títulos, aplicación del software antiplagio en la UCSS, se establece lo siguiente:

Artículo 8°. Criterios de evaluación de originalidad de los trabajos y aplicación de filtros

El porcentaje de similitud aceptado en el informe del software antiplagio para trabajos para optar grados académicos y títulos profesionales, **será máximo de veinte por ciento (20%) de su contenido, siempre y cuando no implique copia o indicio de copia.**

DEDICATORIA

A mis padres por el apoyo incondicional en los años de estudio, por las palabras de aliento en aquellos momentos difíciles que se presentaron durante la trayectoria universitaria.

A mis hermanos que confiaron en mí, gracias porque desde el principio estuvieron alentándome y brindándome consejos que me sirvieron de mucho para obtener este logro. A mi hijo Jhader que con su gran amor me inspiró a lograr este objetivo.

Lizana Nicolás, Betty

A mis padres Dionisio Sebastián Chávez Urbina y Armandina Mestanza Cueva por ser ejemplo y soporte incondicional para lograr mis metas propuestas y por brindarme sus sabios consejos. A mis hermanos por el apoyo incondicional y por creer en mí.

Chávez Mestanza, Mac Neil

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradecemos a Dios por la vida, la salud y la sabiduría que nos brinda día a día.

Al Ing. Denis Izquierdo Hernández por orientarnos durante el proceso de elaboración del informe de tesis.

Al Ing. Carlos Hugo Egoávil de la Cruz, por su apoyo en la ejecución y el análisis estadístico de los resultados de la presente investigación.

A nuestros familiares, seres queridos, amigos y colaboradores que nos apoyaron en todo momento.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
ÍNDICE GENERAL	vii
ÍNDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	x
ÍNDICE DE APÉNDICES	xi
RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiii
INTRODUCCIÓN.....	1
OBJETIVOS	3
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO	4
1.1. Antecedentes.....	4
1.1.1. Nivel internacional	4
1.1.2. Nivel nacional	8
1.1.3. Nivel Regional	13
1.2. Bases teóricas especializadas	14
1.2.1. Los plásticos.....	14
1.2.2. Taxonomía de <i>Galleria mellonella</i>	21
1.2.3. Familia Pyralidae	21
1.2.4. <i>Galleria mellonella</i>	22
1.2.5. Morfología de <i>Galleria mellonella</i>	22
1.2.6. Ciclo biológico de <i>Galleria mellonella</i>	23
1.2.7. Reproducción y crianza de <i>Galleria mellonella</i>	26
1.2.8. Biodegradación de PET por <i>Galleria mellonella</i>	27
CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS	28
2.1. Diseño de la investigación.....	28
2.2. Lugar y fecha	28
2.3. Descripción del experimento	31
2.4. Tratamientos	37
2.5. Unidades experimentales	38
2.6. Identificación de las variables y su mensuración	38
2.7. Diseño estadístico del experimento	39

2.8. Análisis estadístico de datos	39
2.9. Materiales	40
CAPÍTULO III: RESULTADOS	41
3.1. Porcentaje de eclosión de los huevos y supervivencia de la larva del gusano de la cera hasta someterlo a experimento en laboratorio.....	41
3.2. Variación de masas de LDPE por acción de <i>Galleria mellonella</i> por tratamiento a 48 horas de exposición.....	41
3.3. Porcentaje de biodegradación de LDPE por tratamiento a 48 horas de exposición a larvas de <i>Galleria mellonella</i>	48
CAPÍTULO IV: DISCUSIONES	56
4.1. Porcentaje de eclosión de huevos y supervivencia de larvas del gusano de la cera antes de ser sometidos a experimento en laboratorio.....	56
4.2. Determinación de variación de masas de LDPE por acción de larvas de <i>Galleria mellonella</i> por tratamiento a 48 horas de exposición.....	56
4.3. Determinación de variación de masas de LDPE por acción de larvas de <i>Galleria mellonella</i> por tratamiento a 48 horas de exposición.....	57
□ Prueba de análisis de varianza.....	58
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES	61
CAPÍTULO VI: RECOMENDACIONES	63
REFERENCIAS	64
TERMINOLOGÍA.....	73
APÉNDICES	75

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. <i>Clasificación de materiales de plástico</i>	17
Tabla 2. <i>Tratamientos</i>	38
Tabla 3. <i>Identificación de variables y su mensuración</i>	39
Tabla 4. <i>Producción de larvas</i>	41
Tabla 5. <i>Variación de masas en repeticiones del T1</i>	42
Tabla 6. <i>Variación de masas en repeticiones del T2</i>	43
Tabla 7. <i>Variación de masas en repeticiones del T3</i>	44
Tabla 8. <i>Variación de masas promedio del T1</i>	45
Tabla 9. <i>Variación de masas promedio del T2</i>	46
Tabla 10. <i>Variación de masas promedio del T3</i>	46
Tabla 11. <i>Variación de masas promedio de T1-T2-T3</i>	47
Tabla 12. <i>Porcentaje de biodegradación en repeticiones de T1</i>	48
Tabla 13. <i>Porcentaje de biodegradación en repeticiones de T2</i>	49
Tabla 14. <i>Porcentaje de biodegradación en repeticiones de T3</i>	50
Tabla 15. <i>Porcentaje promedio de biodegradación de T1-T2-T3</i>	51
Tabla 16. <i>Estadísticos descriptivos para la masa (g) final, según cantidad de larvas</i>	53
Tabla 17. <i>Resultados de análisis de varianza (ANOVA) vs estadística descriptiva</i>	53
Tabla 18. <i>Análisis de estadística descriptiva - comparaciones múltiples</i>	54
Tabla 19. <i>Prueba de Bartlett de homogeneidad de varianzas</i>	55

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
<i>Figura 1.</i> Origen de los plásticos.....	16
<i>Figura 2.</i> Partes de larva <i>Galleria mellonella</i>	23
<i>Figura 3.</i> Mapa de ubicación del distrito de Nueva Cajamarca	29
<i>Figura 4.</i> Mapa de ubicación de la parcela	30
<i>Figura 5.</i> Colonias invadidas por la polilla de la cera	31
<i>Figura 6.</i> Ubicación de colmenas.....	32
<i>Figura 7.</i> Polillas ovopositando en abanicos de cartón	33
<i>Figura 8.</i> Huevos de <i>Galleria mellonella</i>	33
<i>Figura 9.</i> Larvas de <i>Galleria mellonella</i>	34
<i>Figura 10.</i> Larva de <i>Galleria mellonella</i> a los 25 días	34
<i>Figura 11.</i> Adición de sustrato	35
<i>Figura 12.</i> Pesado de bolsas	36
<i>Figura 13.</i> Sustrato más bolsas de LDPE.....	36
<i>Figura 14.</i> Bolsas de los tratamientos cubiertas con una tela	37
<i>Figura 15.</i> Variación de masas en repeticiones del T1	42
<i>Figura 16.</i> Variación de masas en repeticiones del T2	43
<i>Figura 17.</i> Variación de masas en repeticiones del T3	44
<i>Figura 18.</i> Variación de masas promedio	45
<i>Figura 19.</i> Variación de masas promedio del T2	46
<i>Figura 20.</i> Variación de masas promedio del T3	47
<i>Figura 21.</i> Variación de masas promedio de T1-T2-T3.....	48
<i>Figura 22.</i> Porcentaje de biodegradación en repeticiones de T1	49
<i>Figura 23.</i> Porcentaje de biodegradación en repeticiones de T2	50
<i>Figura 24.</i> Porcentaje de biodegradación en repeticiones de T3	51
<i>Figura 25.</i> Porcentaje promedio de biodegradación de T1-T2-T3.....	52
<i>Figura 26.</i> Cuartiles teóricos de la distribución normal estándar.....	55

ÍNDICE DE APÉNDICES

	Pág.
Apéndice 1. Pesaje de salvado de maíz	75
Apéndice 2. Pesaje de la miel.....	75
Apéndice 3. Adición de larvas de <i>Galleria mellonella</i> para traslado de campo al laboratorio.....	76
Apéndice 4. Tratamiento 1 con sus respectivas repeticiones	76
Apéndice 5. Preparación de dieta (salvado de maíz más miel de abeja).	77
Apéndice 6. Insumos y materiales utilizados en el experimento.....	77
Apéndice 7. Ficha de eficiencias	78
Apéndice 8. Biodegradabilidad por repetición y tratamiento.....	79
Apéndice 9. Estadísticos descriptivos para la masa (g) final, según tratamiento.....	79
Apéndice 10. Representación gráfica de los promedios de masa (g) final, según tratamiento	80
Apéndice 11. Representación gráfica a través de boxplot de masa (g) final, según tratamiento	81
Apéndice 12. Intervalos de confianza de las diferencias en la masa (g) final, según tratamiento	82
Apéndice 13. Análisis de varianza (ANOVA) usando la masa (g) final por tratamiento ...	82
Apéndice 14. Contrastes de hipótesis - análisis de varianza (ANOVA) –Kruskal Wallis ..	83
Apéndice 15. Comparaciones múltiples para las diferentes cantidades de larvas.....	84
Apéndice 16. Contrastes de hipótesis - comparaciones múltiples –Tukey.....	84
Apéndice 17. Cuantiles teóricos frente a los residuos del ANOVA para la masa (g) final.	86
Apéndice 18. Contrastes de hipótesis -prueba de normalidad – Shapiro Wilk	86
Apéndice 19. Prueba de homogeneidad de varianzas sobre la masa (g) final, según tratamientos – prueba de Bartlett.....	87
Apéndice 20. Contrastes de hipótesis - prueba de homocedasticidad – Bartlett	88
Apéndice 21. Registro de temperatura y humedad.....	92

RESUMEN

El objetivo de la investigación fue evaluar la cantidad óptima y capacidad de larvas del gusano de la cera para utilizar el polietileno como alternativa en la biodegradación. Para ello, fueron necesarias 225 unidades de larvas que se obtuvieron a través de la captura y aislamiento de polillas adultas de *Galleria mellonella* de las que se obtuvieron huevos que se incubaron en una colmena previamente acondicionada. Las larvas seleccionadas fueron sometidas bajo experimento durante 48 horas para evaluar su capacidad biodegradadora en condiciones de laboratorio, suministrando como fuente de alimento bolsas de LDPE más una dieta artificial. Se consideraron tres tratamientos, cada uno con cinco repeticiones (T1=10 unidades de larvas más 5 g de polietileno de baja densidad; T2=15 unidades de larvas más 5 g de polietileno de baja densidad y T3=20 unidades de larvas más 5 g de polietileno de baja densidad). Para el análisis de datos se usó el estadístico ANOVA de un solo factor, asimismo, se usaron el método de comparaciones múltiples de Tukey, la prueba de Shapiro Wilk y la Prueba de Bartlett. Los resultados obtenidos para el porcentaje promedio de biodegradabilidad demostraron que el T3=5,68 % fue más efectivo que T2=2,52 % y T1=1,24 %. Asimismo, se concluyó que la biodegradabilidad del polietileno de baja densidad a 48 horas de exposición fue más eficiente con el T3 con 20 unidades de larvas. También, según el análisis de varianza (ANOVA) se determinó que hay un efecto significativo en al menos uno de los tratamientos dado que $p < 0,05$. Por otro lado, con el análisis de comparaciones múltiples (Tukey) se concluyó que las variaciones significativas se presentaron entre T3-T1 y T3-T2, los cuales fueron respaldados por $p < 0,05$.

Palabras clave: Biodegradabilidad, *Galleria mellonella*, larva de gusano de cera, polietileno.

ABSTRACT

The objective of the research was to evaluate the optimal amount and capacity of wax worm larvae to use polyethylene as an alternative for biodegradation. For this purpose, 225 units of larvae were obtained through the capture and isolation of adult moths of *Galleria mellonella* from which eggs were obtained and incubated in a previously conditioned hive. The selected larvae were subjected under experiment for 48 hours to evaluate their biodegradative capacity under laboratory conditions, supplying as food source LDPE bags plus an artificial diet. Three treatments were considered, each with five replicates (T1=10 units of larvae plus 5 g of low density polyethylene; T2=15 units of larvae plus 5 g of low density polyethylene and T3=20 units of larvae plus 5 g of low density polyethylene). For data analysis, the one-factor ANOVA statistic was used, as well as Tukey's multiple comparisons method, Shapiro Wilk's test and Bartlett's test. The results obtained for the average percentage of biodegradability showed that T3=5.68 % was more effective than T2=2.52 % and T1=1.24 %. Likewise, it was concluded that the biodegradability of low density polyethylene at 48 hours of exposure was more efficient with T3 with 20 units of larvae. Likewise, according to the analysis of variance (ANOVA), it was determined that there is a significant effect in at least one of the treatments given that $p < 0,05$. On the other hand, with the multiple comparisons analysis (Tukey) it was concluded that the significant variations occurred between T3-T1 and T3-T2 which were supported by $p < 0,05$.

Keywords: Biodegradability, *Galleria mellonella* larvae, Wax Worm, polyethylene.

INTRODUCCIÓN

La humanidad ha sido beneficiada por la invención del plástico, dado que su practicidad y economicidad lo convierte en indispensable, tal es el caso que hoy en día su uso es universal, ya sea a través de bolsas de polietileno recibidas tanto en grandes tiendas como en bodegas de barrio. Sin embargo, su mal manejo y disposición final se han convertido en un problema ambiental que se acrecienta con el tiempo (Asalde, 2018).

Según Sarria y Gallo (2016), la humanidad se desarrolla en un mundo en el que el plástico es usado para infinidad de actividades, desde las etiquetas de los productos hasta electrodomésticos y equipos usados para fines médicos, transformándose en una gran ayuda para la humanidad. Sin embargo, los residuos plásticos son la mayor preocupación debido a que en la actualidad son abundantes y persisten en el medio ambiente. Asimismo, indican que su generación se ha desarrollado desmedidamente y sin control en muchas ciudades, producto de las actividades comerciales y/o productivas convirtiendo su manejo y gestión en un problema cada vez mayor. La problemática actual está asociada específicamente a la generación y manejo de residuos plásticos que se suscita abarcando aspectos sociales, políticos, económicos y ecológicos. Una de las razones por las que el plástico se ha hecho indispensable para la humanidad es, su versatilidad y bajo costo de adquisición. En ese sentido se asegura que su presencia es universal, pero a la vez lograr un buen manejo y disposición final adecuada se ha convertido en uno de los más grandes desafíos globales, al cual se debe generar y proponer alternativas que ayuden a reducir su huella negativa en el medio ambiente.

Bombelli *et al.* (2017) en un artículo de la revista *Current Biology* mencionan que el “gusano de la cera” *Galleria mellonella* L. es una solución para la problemática que se vive hoy en día, puesto que esta larva es un biodegradador del polietileno. Estos autores en su investigación experimentaron que el gusano de la cera actúa de una manera rápida ya que, en 48 minutos se puede notar los efectos que causa frente al polietileno puesto que cien gusanos de la cera fueron capaces de degradar 92 mg de polietileno en tan solo 12 horas. Es entonces que la toma de acciones en favor de la reducción de volumen de plásticos (entre

ellos el LDPE o polietileno de baja densidad) resulta beneficioso para todos, generando una economía circular rentable que trae consigo acciones positivas para el planeta, que se reflejará en la reducción de costos de tratamiento y disposición final de los residuos plásticos.

La tesis consistió en realizar el acondicionamiento de colmenas en desuso para aprovecharlas como trampas y capturar polillas adultas, las mismas que ovopositaron huevos durante tres días. Luego fue necesario un periodo de 15 a 20 días para lograr la eclosión de los huevos y obtención de larvas. Para la obtención de las larvas de interés, se monitoreó durante 25 a 30 días el desarrollo hasta que alcanzaron el tamaño óptimo que oscila entre 20 a 30 mm. De las larvas obtenidas se seleccionaron 225 unidades las cuales fueron trasladadas al laboratorio de la Universidad Católica Sedes Sapientiae, para el respectivo proceso de investigación. Se consideraron tres tratamientos, cada uno con cinco repeticiones (T1=10 larvas + 5 g de LDPE, T2=15 larvas + 5 g de LDPE, T3=20 larvas + 5 g de LDPE y T0=5 g de LDPE) los cuales demandaron el acondicionamiento de 16 recipientes con un sustrato artificial previamente preparado. El proceso de biodegradación de LDPE duró 48 horas en condiciones de laboratorio, luego los datos fueron registrados y analizados según corresponda.

OBJETIVOS

Objetivo general

Evaluar la cantidad óptima de larvas del “gusano de la cera” *Galleria mellonella* L. en biodegradación de polietileno de baja densidad.

Objetivos específicos

- Evaluar el porcentaje de eclosión de los huevos y supervivencia de la larva del “gusano de la cera” *Galleria mellonella* L. hasta someterlo a experimento en laboratorio.
- Determinar la variación de masas de LDPE por acción de larvas de *Galleria mellonella* por tratamiento a 48 horas de exposición.
- Determinar el porcentaje de biodegradación de polietileno de baja densidad por tratamiento a 48 horas de exposición a larvas de *Galleria mellonella*.

CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes

1.1.1. Nivel internacional

Billen *et al.* (2020) en su investigación “Technological application potential of polyethylene and polystyrene biodegradation by macro-organisms such as mealworms and wax moth larvae” ejecutado en Kontich-Bélgica, tuvieron como objetivo conocer perspectivas tecnológicas de alternativas futuras de biodegradación mediante microorganismos. El estudio tuvo un enfoque cuantitativo con diseño experimental donde utilizaron tres tratamientos. La metodología que usaron para evaluar la biodegradación de las larvas incluyó especímenes vivos de *Galleria mellonella*, los cuales fueron puestos en un vaso de precipitado de 250 ml cerrado, en contacto con filme transparente perforado e intacto. Para cada tratamiento, pusieron en contacto 10 larvas de *Galleria mellonella* con: 0,154 g de filme transparente doblado sin apretar; asimismo, 0,234 g de película sin doblar; 0,189 g doblado en cuatro capas y 15 larvas con 2,834 g de bolsas negras. Para la evaluación de contacto directo entre larvas vivas y películas de LDPE obtuvieron los siguientes resultados: 4,2 % de pérdida en masa para 0,154 g en película de LDPE durante 17 horas, lo cual significó una tasa inicial de 0,91 mg/larva/día y 8,5 % para 0,234 g en 89 horas (0,54 mg/larva/día); asimismo, en la película de LDPE de 0,189 g doblada en 4 capas midieron una pérdida en masa del 1,8 %, en 96 h (0,09 mg/larva/día) y 1,8 % de pérdida de masa en 2,834 g de bolsas negras durante 9 días (0,38 mg/larva/día). En conclusión, la degradación del polietileno por parte de larvas de polilla de la cera presentó resultados importantes desde el punto de vista ambiental; la tasa más alta de reducción de masa de la película de LDPE, fueron observados en las larvas de la polilla de la cera con 0,91 mg/larvas/día, basados en la evaluación de 17 horas.

Jiménez (2019) realizó una investigación sobre “Biodegradación del poliestireno expandido por larvas de *Galleria mellonella* L. (Lepidoptera: Pyralidae) en condiciones de laboratorio” en Bogotá-Colombia, con el objetivo de determinar la capacidad de consumo del Lepidóptero en poliestireno expandido (PE). La investigación presentó un enfoque cuantitativo y un diseño experimental completo al azar, el cual contó con cuatro tratamientos y cinco repeticiones, con diferentes cantidades de larvas. La metodología consistió en la crianza de las larvas, en el laboratorio de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD), Bogotá, Colombia; asimismo, realizó la recolección de poliestireno expandido (PE), los cuales fueron obtenidos de las viviendas aledañas a la universidad. En cada tratamiento colocó diferentes cantidades de larvas según corresponda: T1=10 larvas, T2=20 larvas, T3=30 larvas y T4=40 larvas; donde a cada una de ellas agregó 5 g de poliestireno expandido; seguidamente, estas fueron encubadas en placas Petri a temperaturas de 24 °C, durante un periodo de 37 días. Los datos obtenidos fueron analizados con Shapiro-Wilk y Levene, así como también usó la prueba de Tukey ($\alpha= 0,05$) y ANOVA. De acuerdo con los resultados que obtuvo, la biodegradación de poliestireno expandido (PE) por las larvas de *Gallería mellonella*, presentó un efecto significativo en los diferentes tratamientos, donde la probabilidad obtenida fue menor a 0,001; asimismo, con la prueba de Tukey ($\alpha= 0,05$) determinó que, a mayor número de larvas, logró una mayor biodegradación del poliestireno. Además, los resultados mostraron que 40 larvas de *Gallería mellonella*, lograron consumir 103,88 mg de poliestireno expandido (PE) en un tiempo de 168 horas, donde degradaron el 84,77 % del PE, generando 84,77 mg de excretas sólidas. Concluyó que el número de larvas presentó una influencia significativa sobre el consumo y biodegradación del PE; asimismo, el lepidóptero logró biodegradar el PE de manera significativa en una temperatura de 21 a 26 °C, el cual fue realizado hasta la etapa de adultez de las larvas.

Márquez (2019) realizó una investigación sobre la “Viabilidad de la biodegradación de polietileno y poliuretano por la polilla de la cera (*Galleria mellonella*): Factores que afectan tasas de degradación y supervivencia” en Bogotá-Colombia, cuyos objetivos fueron evaluar la eficiencia de biodegradación del poliuretano y polietileno, así como determinar la tasa de crecimiento y supervivencia de las larvas, usando los componentes mencionados como fuente de alimento y posterior análisis de composición de las heces, desarrollados en el laboratorio de la universidad Javeriana de Bogotá, Colombia. El autor consideró un enfoque cuantitativo evaluado a través de la experimentación; asimismo, usó un diseño experimental,

el cual estuvo compuesto por una población de 2 300 unidades de larvas, distribuidas en cinco tratamientos, cada uno de ellos con un tipo de alimento: polietileno (P); cera y levadura (C); poliuretano (Po); cera + polietileno (C+P); y cera + poliuretano (C+Po). La metodología utilizada consistió en colocar 60 larvas en cada repetición, los cuales fueron sometidos a biodegradación en una cámara ambiental a 27 °C durante 34 días. Para determinar la biodegradación recolectó las heces y lo sometió a espectroscopia infrarroja, a través de radiaciones emitidas, para determinar la composición porcentual de la sustancia y/o material. Los datos fueron procesados a través del análisis de varianza (ANOVA) en el software estadístico R. Los resultados determinaron que después de 7 días, encontró diferencias significativas ($p= 0,00265$) en el peso del material por cada tratamiento, expuestas a las larvas de *Galleria mellonella*; asimismo, a través de los espectros infrarrojos, entre los 7 y 14 días, estas presentaron variaciones, lo cual indicó una interacción de las moléculas de las heces para la determinación de los grupos funcionales: alcohol (O-H) y polimérico en la posición $3\ 400 - 3\ 200\ \text{cm}^{-1}$, característico del enlace uretano (N-H). En cuanto al crecimiento y la masa corporal, los resultados presentaron un efecto significativo en el incremento del peso de las larvas, en un periodo de 0-7 y 7-14 días, para los tratamientos con presencia de cera. Concluyó que la larva *Galleria mellonella* presentó un gran potencial biodegradador de polímeros (polietileno), donde demostró una biotransformación del polietileno; además, cuanto más rica fue la dieta, el tamaño y la voracidad de la larva fue incrementándose.

Deras (2018) desarrolló una investigación sobre el “Efecto del consumo del polietileno de baja densidad en el desarrollo de la polilla de cera-*Galleria mellonella*”, con el objetivo de medir el incremento de peso y poder determinar la incidencia del polietileno de baja densidad en el aumento y sobrevivencia del lepidóptero. El enfoque del estudio fue cuantitativo a través de la experimentación desarrollada en el laboratorio de unidad de control biológico de la universidad de Zamorano–Honduras. El investigador incubó 0,05 g de huevos con 7 g de dieta artificial (polietileno, leche de soya en polvo, miel de abeja, levadura, melaza, semolina, glicerina, afrecho de trigo y sirope) a una temperatura de 27 a 35 °C y 5 % de humedad relativa; luego, extrajo 200 larvas y los separó en cuatro grupos (tratamientos) con dietas artificiales (DA), más polietileno de baja densidad (PEBD) con proporciones de 100 % + 0 %, 50 % + 50 %, 30 % + 70 % y 10 % + 90 % administradas durante tres semanas en diferentes proporciones. Luego realizó un conteo para registrar el porcentaje de larvas que

lograron sobrevivir. Para el análisis y procesamiento de los datos obtenidos empleó un análisis de varianza (ANOVA) y análisis de correlación de Pearson que permitió determinar el porcentaje de sobrevivencia y de PEBD y, finalmente una prueba con test de diferencia mínima significativa (LSD) con la ayuda del software estadístico Infostat versión 2018. Los resultados del ANOVA arrojaron valores de $p \leq 0,05$ indicando diferencias significativas en la relación tiempo y variación de peso; además, la prueba LSD determinó que la dieta 50 DA-50 PEBD al final de los primeros quince días, mostró mayor consumo de PEBD y proporcionalmente mayor aumento de masa; asimismo, a partir del sexto día evidenció que la dieta 10 DA/90 PEBD manifestó mayor ritmo de incremento de masa. Finalmente, concluyó que a un porcentaje menor de PEBD, las larvas sobrevivieron mejor y crecen más rápido.

Zamorano (2009) realizó una investigación sobre “Uso de *Bacillus thuringiensis* L. como agente de control de larva de la polilla mayor de la cera *Galleria mellonella* L. (Lepidoptera: Pyralidae)” en Valdivia-Chile, con el objetivo de determinar la eficiencia en la reducción de la población de *Galleria mellonella*, las cuales fueron criadas *in vitro*, al mismo tiempo evaluó la acción del insecticida aplicado sobre distintos estadios larvales de *Galleria mellonella*. Esta investigación presentó un diseño experimental completo al azar en donde consideró cuatro tratamientos y tres repeticiones, los cuales fueron colocadas en placas Petri. Cada repetición contó con un número de 10 larvas y 50 g de dieta, el mismo que fue elaborado a base de productos altos en azúcares, agua destilada y cereales. La metodología consistió en elaborar cajas de crianza en las cuales fueron colocadas los huevos de larvas de *Galleria mellonella* para su crianza; además, colocó la dieta ya preparada en placas Petri y consideró una temperatura de 27 °C, teniendo en cuenta que la efectividad fue dada de acuerdo con la mortalidad de larvas en cada uno de los tratamientos de estadio larval. En cada tratamiento aplicó diferentes dosis de *Bacillus thuringiensis* (T0 y T1= agua, T2= 0,0084 mg/cm², T3= 0,0168 mg/cm², T4= 0,0448 mg/cm² y T5= 0,0897 mg/cm²), para determinar el más efectivo; asimismo, para la determinación de la eficiencia del producto evaluó la mortalidad de las larvas expuestas durante 9 días, el cual fue realizado a través de un recuento de cada placa contabilizando las larvas que presentaron sequedad o muerte. Los datos de mortalidad fueron analizados con la prueba de Bartlett, análisis de varianza (ANDEVA) y test de Tukey a través del software estadístico Statgraphic Plus 5.1. Los resultados determinaron que el uso de *Bacillus thuringiensis* L, no provocó ningún efecto de

disminución, ya que en la población de larvas de *Galleria mellonella*, sólo llegó a un límite máximo del 12 % de mortalidad en cada uno de los tratamientos. Asimismo, con relación al efecto de *Bacillus thuringiensis* L. en distintos estadios larvarios, los resultados demostraron que estos no superaron el 10 % de mortalidad, indicando que no existió una diferencia significativa. En conclusión, el producto aplicado en sus distintas dosis utilizadas y diferentes estadios larvarios no presentó un efecto significativo en la disminución de la población de larvas de *Gallería mellonella*, no superando el límite de 12 % de mortalidad.

1.1.2. Nivel nacional

Calizaya (2019) realizó un trabajo de investigación sobre la “Evaluación del polietileno como alimento de la *Galleria mellonella* como alternativa en la biodegradación” en Tacna, buscando que el lepidóptero utilice al polietileno como una principal fuente de alimentación, aportando así al proceso de biodegradación. Para ello basó sus estudios en un diseño cuantitativo-cuasi experimental, cuya población fueron las larvas de la ciudad de Tacna y como muestras, bolsas de LDPE. Utilizó como variable independiente a las larvas de *Galleria mellonella*, y como variable dependiente consideró al peso de las larvas, sobrevivencia de las larvas, peso del polietileno y biodegradación del polietileno. La metodología consistió en el desarrollo de tres tratamientos y seis repeticiones, más un tratamiento para la determinación de la función biodegradante de plástico, de la *Galleria mellonella*; el tratamiento 1 constó de bolsas de polietileno y las larvas, el tratamiento 2 estuvo conformado por las bolsas de polietileno, sustrato y las larvas; y el tratamiento 3 consistió en las larvas y las bolsas de polietileno. Seguidamente, fueron agregadas las larvas dentro de las bolsas de polietileno, donde comprobó la digestión del plástico; luego, colocó larvas dentro de las bolsas, más un sustrato adicional y observó su preferencia hacia los dos componentes; por último, añadió las larvas con el sustrato y sin polietileno; posteriormente, realizó el pesaje inicial y final de las larvas y del plástico en cada una de las repeticiones para la obtención de datos. Los datos fueron analizados en los programas Microsoft Excel 2016, Stathgraphics, y SPSS. Los resultados mostraron que los tratamientos 2 y 3 obtuvieron el mayor porcentaje de sobrevivencia de larvas de *Galleria mellonella*, donde el porcentaje alcanzado fue del 100 % para ambos; sin embargo, el tratamiento 1 solamente alcanzó el 56 %. Asimismo, en cuanto a la pérdida de peso del polietileno, no hubo diferencia significativa entre los tratamientos 2 y 3 (7,71 y 5, 11 % respectivamente), lo cual evidencia la necesidad de *Galleria mellonella* de romper la bolsa para huir. En conclusión, al

proporcionarles como alimento únicamente el polietileno, las larvas de *Galleria mellonella* presentaron un 88 % de sobrevivencia, donde además logró un 6,41 % de biodegradación.

Espejo (2019) realizó un trabajo de investigación sobre “La eficiencia de la biodegradación de residuos de polietileno y poliestireno expandido por acción de la oruga *Galleria mellonella*, Lima-2019”, donde tuvo como objetivo determinar la eficiencia de biodegradación de polietileno por acción de *Galleria mellonella*. La investigación fue de tipo experimental, para lo cual consideró como población 4 g de cada residuo de polietileno y poliestireno expandido formados por dos tratamientos y siete repeticiones. La metodología de trabajo consistió en conseguir las larvas y el polímero, para luego someterlos a un proceso de biodegradación y registrar la diferencia de masas iniciales y finales. Paralelo a ello, a través del análisis de Espectrometría Infrarroja con Transformada de Fourier (FTIR) evaluó la excreta de la oruga *Galleria mellonella* luego del consumo de su alimento tradicional (cera), polietileno y alimento común (cera), poliestireno y alimento común (cera); seguidamente, realizó el análisis de Cromatografía de Gases acoplado a Espectrómetro de Masas (GCMS) para verificar su componente volátil y su comportamiento sobre el medio. Los datos obtenidos fueron analizados en el Software Excel 2016 y SSPS versión 23. Los resultados determinaron que las muestras 5, 6, 7, y 8 de polietileno lograron eficiencia de biodegradación del 3, 1, 2 y 7 % respectivamente; y las muestras de poliestireno expandido lograron una eficiencia de biodegradación de 11, 4, 7 y 13 %, teniendo en cuenta que hubo mayor pérdida de masa en relación al polietileno; asimismo, los análisis FTIR establecieron que los excrementos arrojados por *Galleria mellonella* guardan mucha similitud con aquellos alimentos derivados de la cera (alimento tradicional). Concluyó que existió una buena eficiencia en la biodegradación de tipos de residuos de polietileno (bolsa de plástico transparente) y poliestireno extendido (Tecnopor) indicando una pérdida de masa significativa en un tiempo de 12 horas, con la adición de 10 orugas de *Galleria mellonella*.

Espinoza (2018) desarrolló una investigación sobre la “Eficiencia de las larvas *Tenebrio molitor* y *Galleria mellonella* para la biodegradación de microplásticos de la playa costa azul, Ventanilla – Callao”, donde tuvo como objetivo determinar la eficiencia de larvas para la biodegradación de tereftalato de polietileno, cloruro de polivinilo y poliestireno expandido. La investigación presentó un enfoque cualitativo con alcance correlacional,

donde midió ambas variables (larvas de *Tenebrio molitor* y *Galleria mellonella*) y estableció el vínculo entre ellas; asimismo, la investigación fue de tipo experimental, usando como población microplásticos (poliestireno expandido, cloruro de polivinilo y tereftalato de polietileno), escogiendo como muestra aleatoria no probabilística 10 g de cada tipo de plástico. La metodología consistió en realizar una caracterización del área de estudio, donde obtuvo microplásticos de 2 mm, 2,5 mm y 5 mm; asimismo, en cuanto a las larvas, estas fueron obtenidas del SENASA. En la etapa de investigación fueron sometidas a biodegradación treinta larvas de cada tipo (*Tenebrio molitor* y *Galleria mellonella*), con 5 g de cada uno de los plásticos durante quince días, en tres intervalos de tiempo cada cinco días. Los datos obtenidos fueron procesados y analizados en microsoft office Excel y el paquete estadístico SPSS. Los resultados evidenciaron que el estudio con 30 larvas *Tenebrio molitor* y *Galleria mellonella* y 5 g de plástico presentaron un aumento de tamaño durante las dos semanas y en cuanto a la biodegradación registró una disminución de 54,2 % en poliestireno expandido sometido a *Tenebrio molitor* y 34,4 % con *Galleria mellonella* y cloruro de polivinilo. En conclusión, las larvas *Tenebrio molitor* y *Galleria mellonella* presentaron un potencial para la biodegradación de microplásticos y a la vez el peso de las larvas disminuyó cuanto más se biodegradaba.

Revilla (2018) realizó una investigación sobre la “Eficiencia del homogenizado proveniente del tracto digestivo de la *Galleria mellonella* en la biodegradación de dos tipos de polietileno de baja densidad, Lima–2018”, donde el objetivo fue encontrar la eficiencia de biodegradabilidad que presentó el contenido interno del gusano de cera en filme y bolsa plástica. La investigación presentó un diseño experimental de nivel exploratorio y descriptivo. La metodología consistió en utilizar una población de bolsas plásticas y filme, de lo cual seleccionó 30 muestras de bolsas y 30 muestras de filme, mediante el muestreo no probabilístico; seguidamente, comparó el nivel de biodegradación que logró con volúmenes de 5,0; 7,5 y 10 ml de homogenizado del tracto digestivo de *Galleria mellonella*, determinando la eficiencia en expresiones de tiempo. Asimismo, para la cuantificación de la biodegradación, procedió a la aplicación directa de los tres volúmenes de homogenizado (5,0; 7,5 y 10 ml) del tracto digestivo del lepidóptero en contacto directo con filme y bolsas plásticas. El estudio prestó un periodo de siete días en el que fueron registrados los pesos iniciales y finales del polietileno de baja densidad (PEBD) en cinco repeticiones. Los datos obtenidos fueron analizados mediante el software estadístico SPSS Statistics 24, donde

obtuvo el ANOVA con un factor y la prueba de Tukey, para el contraste de hipótesis y la comparación de medias. Los resultados mostraron los promedios de eficiencia en la biodegradación de las bolsas plásticas, para el volumen de 5 ml de tratamiento logró un 0,64 %; para el volumen de 7,5 ml el resultado fue de 3,36 % y con 10 ml de homogenizado logró un 9,79 %; generando un promedio parcial de 4,60 %. Asimismo, para el filme logró porcentajes mayores de biodegradación, donde para el volumen de 5 ml de homogenizado, logró un efecto de hasta 9,70 %; para el volumen de 7,5 ml el resultado fue de 11,02 % y con 10 ml, el resultado alcanzó el 16,13 %, considerando un promedio parcial de 12,28 %. Concluyó que, a mayor volumen del tratamiento existió una mayor eficiencia en la biodegradación; asimismo, en la comparación de ambos tipos de polietileno de baja densidad, el porcentaje de biodegradación del filme fue mayor.

Velasco (2017) realizó una investigación sobre la “Biodegradación del polietileno de baja densidad, mediante el uso del lepidóptero *Gallería mellonella* bajo condiciones térmicas controladas en el 2017”; el objetivo fue medir las características térmicas aptas para acelerar el proceso de biodegradación en el polietileno de baja densidad (PEBD). La investigación fue de tipo aplicada, diseño experimental y correlacional, que buscó la relación entre la biodegradación del polietileno de baja densidad y el uso de larvas de *Galleria mellonella*. La población considerada fueron todas las bolsas PEBD expuestas a temperaturas de 25 y 35 °C en invernaderos, en la ciudad de Lima, y como muestra consideró a 20 bolsas de PEBD seleccionadas a través de un muestreo aleatorio simple. La metodología consistió en la elaboración de dos invernaderos a temperaturas diferentes (25 y 35 °C), para el desarrollo de las evaluaciones; seguidamente, seleccionó diez larvas de lepidópteros previamente pesadas, las cuales fueron puestas en las bolsas plásticas (PEBD) dentro de cada uno de los invernaderos, donde fueron observadas y analizadas durante un periodo de 12 horas. Finalmente, pasado el tiempo de evaluación, las larvas fueron sacadas de las bolsas y procedió a la evaluación de los cambios de cada muestra, mediante la observación y como instrumentos de recolección de datos e información, usó registros de biodegradación, temperatura, tiempo y pesos iniciales y finales. Los datos e información registrada fueron procesados y analizados a través de Microsoft office Excel y SPSS en pruebas de T de student y normalidad. Como principales resultados de biodegradación del plástico, obtuvo que las muestras sometidas a 25 °C tuvieron pérdidas de masa entre 0,31 y 3,57 %, con un total de pérdida de 17,21 % para las diez repeticiones; por otro lado, las muestras sometidas

a una temperatura de 35 °C con 10 lepidópteros, obtuvieron resultados inferiores a los de la muestra de 25 °C, donde obtuvo una pérdida de masa de 1,31 %, siendo el mayor alcanzado, con un total de 5,64 % de biodegradación en todas las muestras. Concluyó que, los lepidópteros *Galleria mellonella* biodegradaron el plástico de baja densidad en un periodo de 12 horas, a una temperatura de 25 °C de manera óptima.

Salas (2015) desarrolló una investigación sobre “Efecto de dietas artificiales en la crianza de *Galleria mellonella* (Lepidoptera: Pyralidae)” en Trujillo, donde tuvo como objetivo evaluar el efecto de alimentación con dietas artificiales en la crianza de larvas y determinar el mayor número de individuos grandes que puedan servir como hospedero alternativo en la producción de *Paratheresia claripalpis* Wulp. El estudio presentó un enfoque cuantitativo con alcance correlacional y un diseño experimental completamente al azar (DCA) con 2 factores (tipo de fuente alimenticia y cantidad de individuos). Fueron considerados catorce tratamientos y cinco repeticiones, más una muestra control. La metodología consistió en la recolección de las posturas (huevos) de *Galleria mellonella* en 10 frascos de plástico, con cantidades de entre 300 a 500 unidades que fueron distribuidas para cada tratamiento, incluyendo dietas artificiales de 350 g cada una, elaboradas con combinaciones de: trigo molido, azúcar metilparabeno, agua, glicerina, cera y miel de abejas, leche pasteurizada, bagacillo, diastasa, harina de maíz, harina de soya, salvado de maíz; germen, harina y sémola de trigo; viruta de madera y alimento para perro. Posteriormente, los frascos correspondientes a cada tratamiento fueron ubicados en una habitación con calefacción y termo-ventilador para mantener una temperatura de 28 a 32 °C, por un periodo de dos semanas. Finalmente, procedió a contabilizar y caracterizar física y morfológicamente el total de las larvas recuperadas; asimismo, en cada uno de los tratamiento y repeticiones determinó el total de cocones formados. El análisis estadístico de los datos fue realizado a través del análisis de varianza y prueba de Duncan con soporte del software SPSS v19. Los resultados determinaron que, del total de larvas de la 1° generación, el tratamiento 8 fue el que mayor promedio presentó (346,25 larvas); para el total de larvas de la 2° generación, el tratamiento 4 presentó el mayor alcanzado (374,75 larvas). Asimismo, la evaluación de las características físicas y morfológicas de las larvas establecieron que los tratamientos 11 y 12 obtuvieron la menor longitud, el menor calibre de larvas en ambas generaciones (14,111; 16,986 mm y 16,713; 15,621 mm respectivamente); mientras que, los tratamientos 5, 8, 13, 14 y 17 presentaron el mayor calibre de larvas; con respecto al peso de la larva, el tratamiento

14 de la 1° generación presentó el mayor peso (0,300 g); en tanto para el porcentaje de cocones, los tratamientos 3 y 13 de la 1° generación presentaron el mayor porcentaje de cocones (36,50 y 46,25 %); asimismo, en la 2° generación, el tratamiento 3 obtuvo el mayor porcentaje (25,50 %). En conclusión, el estudio determinó que, de todos los tratamientos evaluados, la dieta 4 con 500 huevos en el tratamiento 8 obtuvo los mejores resultados en el rendimiento larval en las dos generaciones sucesivas (69 % de supervivencia).

1.1.3. Nivel Regional

Siesquen y Trujillo (2019) desarrollaron una investigación sobre la “Utilización del gusano de cera (*Gallería mellonella*) para la biodegradación de los contenedores de poliestireno expandido (tecnopor), Moyobamba, 2019”, donde el objetivo fue utilizar el gusano de cera *Gallería mellonella* para la biodegradación de recipientes de poliestireno expandido. La investigación presentó un enfoque cuantitativo y diseño experimental; asimismo, la población estuvo conformado por 4625,75 g de poliestireno expandido, obtenidos de la pollería Arizona Chicken, y la muestra fue de 41 g del mismo material (poliestireno), donde consideraron tres tratamientos: T1 (10 g de gusano de cera), T2 (20 g de gusano de cera) y T3 (30 g de gusano de cera), cada uno con cuatro repeticiones, puestas a 24, 48 y 72 horas de degradación. La metodología consistió en recolectar los gusanos de cera de una fuente natural, ubicado en el distrito de Yantaló, provincia de Moyobamba, para luego reproducirlos en la cantidad requerida; seguidamente, procedieron a la elaboración de envases de madera de 20 x 20 cm para cada uno de los tratamientos, donde adicionaron 3,4166 g de tecnopor en cada unidad experimental, más 10, 20 y 30 g de gusano de cera, respectivamente, por un periodo de 24, 48 y 72 horas; finalmente, realizaron el pesaje inicial y final del poliestireno expandido de cada uno de los tratamientos. Para el análisis estadístico de datos, estos fueron organizados en el programa Microsoft Office 2013 (Word y Excel) y procesadas mediante la prueba de análisis de varianza de dos factores con el programa SPSS v24. Los resultados determinaron que obtuvieron diferencias poco significativas en cuanto a la variación de masa post biodegradación ($F_{ANOVA} = 3,323$, $gl = 2$, $p = 0,231$); no obstante, el análisis del tiempo en la influencia de la biodegradación, demostró que este si fue significativo ($F_{ANOVA} = 40,49$, $gl = 2$, $p = 0,024$); asimismo, también determinaron que hubo una mejor biodegradación entre 24 a 72 horas con variaciones de hasta 0,125 g, lo cual indicó que existió una diferencia significativa en la disminución de la cantidad de tecnopor con relación al tiempo; además, en un tiempo de 48 y 72 horas, también lograron disminuir relativamente el tecnopor,

aceptando la hipótesis del investigador ($p= 0,061$). Concluyeron que el gusano de cera *Gallería mellonella* presentó un potencial de biodegradación frente al poliestireno expandido (tecnopor).

1.2. Bases teóricas especializadas

1.2.1. Los plásticos

El término plástico proviene de la etimología griega “plastikos” traducida como “aptos para moldear”, resaltándose su facilidad de manejo durante la manufactura. En la actualidad este término sirve para nombrar una gran cantidad de compuestos orgánicos sintéticos producidos gracias a la polimerización de monómeros que agrupados crean copolímeros. Los plásticos son de fácil moldeabilidad pudiendo generar formas diferentes con alta flexibilidad y resistencia. Además, los plásticos se han desarrollado para reemplazar los recursos naturales agotados desde la antigüedad (Hammer *et al.*, 2012).

Los plásticos son sustancias orgánicas obtenidas a través de la sintetización de compuestos de bajo peso molecular; además, son polímeros que son obtenidos desde compuestos orgánicos. Entre los principales usos de los plásticos figura el empaquetado que en su mayoría es comercializado en forma de polietileno de baja densidad. Asimismo, el polietileno de alta densidad es usado para actividades que requieran de mayor resistencia, cuyo ejemplo son las bolsas de basura (Frías *et al.*, 2003).

El uso de plásticos tiene una ventaja sobre otros materiales debido a sus características mecánicas de ductilidad, durabilidad y de fácil adquisición; gran parte de estos son materia prima para la manufactura de materiales, insumos y recipientes usados en la industria agrícola y alimentaria. No obstante, su constante y continuo uso, deficiente segregación y tratamiento lo ha transformado en una amenaza para la salud de los seres vivos, volviéndose aún más peligroso si este se presenta en forma de microplásticos, los cuales son en su mayoría depositados en fuentes acuáticas y ecosistemas susceptibles a cambios, causando la muerte de los organismos vivos o acumulación en la cadena alimentaria (Ren *et al.*, 2019).

Plástico es una sola palabra para una realidad multifacética, que abarca una amplia variedad de polímeros y aditivos con diferentes propiedades químicas y físicas. Los productos finales van desde bolsas de plástico de un solo uso, envoltorios para alimentos y botellas de plástico, hasta líneas de pesca, boyas y fibras sintéticas utilizadas en la industria de la confección o la pesca (Boucher y Billard 2019).

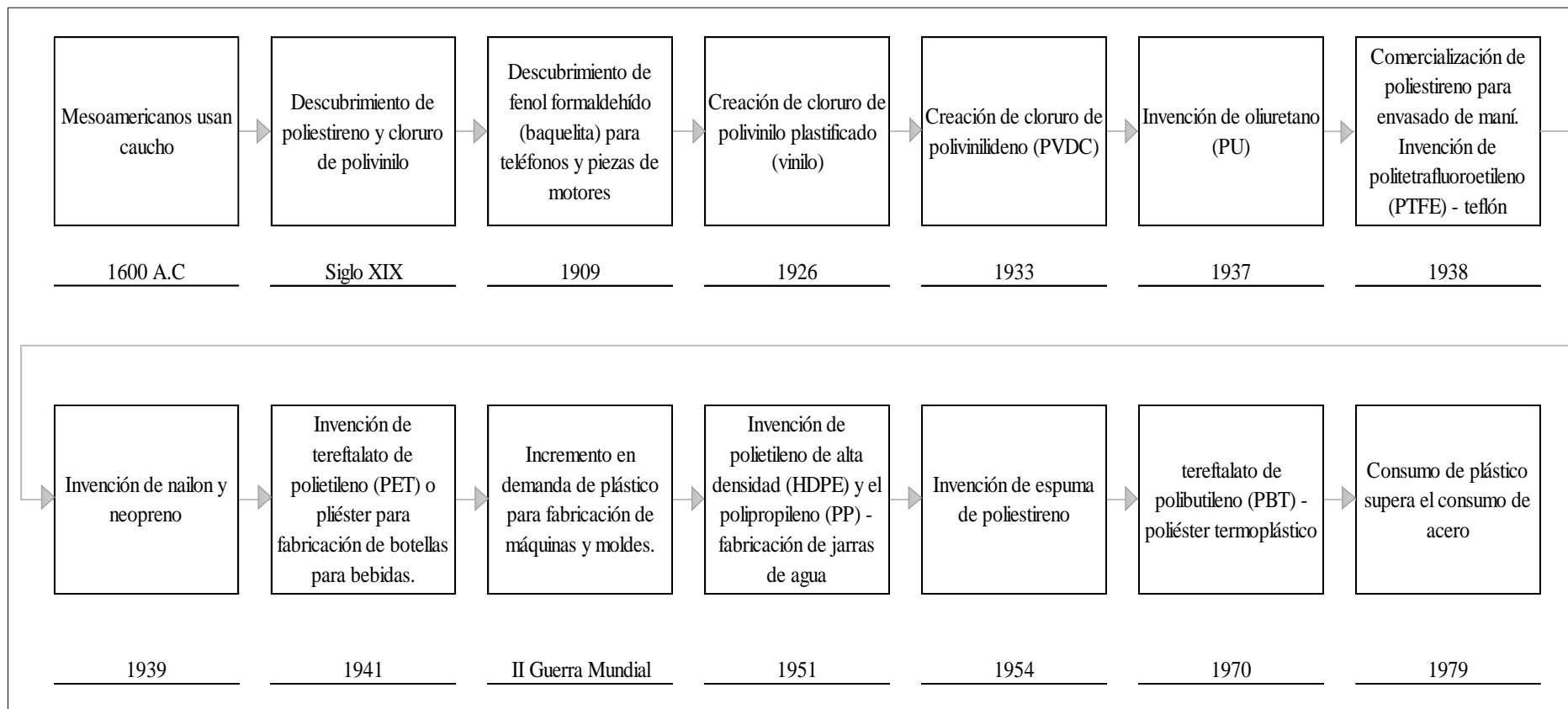
a. Origen de los plásticos

Después de la segunda guerra mundial se aceleró la producción de los plásticos (Figura 1) generando así una sociedad que no podría vivir sin usarlo, de tal forma que se podría decir que la era moderna sin plásticos sería casi irreconocible. Este producto trajo consigo muchos avances, entre ellos se encuentra la medicina a través de productos salvan vidas, aligeraron viajes espaciales, automóviles y aviones (Hammer *et al.*, 2012).

Este producto se tiene como materia prima de los combustibles fósiles, he ahí la razón por el cual se dice que es un factor muy contaminante para el medio ambiente. Puesto que la vida útil es de unos minutos u horas y para degradarse demora cientos de años.

Figura 1

Origen de los plásticos



Nota. Adaptado de The American Chemical Society (1999).

b. Situación actual de los plásticos

La Ley N° 30884, cuya finalidad es regular el plástico de un solo uso y los recipientes o envases denominados como descartables, los define como materiales de base polimérica con características de fácil moldeabilidad que en su composición pueden tener aditivos con la finalidad de añadirle ciertas características particulares.

Los supermercados distribuyen bolsas en cifras que superan las 20 decenas de millones y que estas forman parte de las 336 000 toneladas anuales de residuos sólidos del país, por lo que el estado promulgó el Decreto Supremo N° 013-2018-MINAM, con la finalidad de reducir el plástico de un solo uso prohibiendo su comercialización, fabricación e importación en diferentes presentaciones (Guzmán, 2018). Asimismo, el Ministerio del Ambiente (MINAM, 2016) publicó el Plan Nacional de Gestión Integral de Residuos Sólidos 2016-2024 con el fin de unir esfuerzos con entidades como Ministerio de Educación (MINEDU), Ministerio de Salud (MINSA), gobiernos regionales y locales para mejorar los servicios de limpieza pública, reciclaje y educación ambiental.

c. Clasificación de plásticos

En la Norma Técnica Peruana (NTP 399.163-1:2017/CT 1, 2018), elaborada por el Instituto Nacional de Calidad [INACAL] (2018), los envases y accesorios plásticos en contacto con alimentos se clasifican de la siguiente manera (Tabla 1).

Tabla 1

Clasificación de materiales de plástico

Tipos de plásticos:	Plástico 1	Plástico 2	Plástico 3	Plástico 4	Plástico 5	Plástico 6	Plástico 7
Siglas:	PET	HDPE	PVC	LDPE	PP	PS	ABS
Nombre polímero:	Teraftalato de polietileno	Polietileno de alta densidad	Cloruro de polivinilo	Polietileno de baja densidad	Polipropileno	Poliestireno	Butadieno

Nota. NTP 399.163-1:2017/CT 1:2018 (2018).

El polietileno es uno de los polímeros de origen sintético más abundantes desechados y acumulados en el medio ambiente de manera creciente, como consecuencia del desarrollo de las actividades humanas, con el fin de satisfacer sus necesidades. Sin embargo, su reciclaje a través de procesos químicos es de alto costo por lo que se realiza en su mayoría de forma mecánica, que conlleva casi siempre a la pérdida de ciertas propiedades mecánicas (Austin *et al.*, 2018).

Vélez y Mosquera (2011) definen al polietileno como un producto que posee una estructura química predominante, el cual se compone de $(-\text{CH}_2-\text{CH}_2-)_n$; además, resalta características mecánicas como transparencia y facilidad de ser fabricado en láminas delgadas.

d. Polietileno de baja densidad

El polietileno de baja densidad es un polímero de la familia de los polímeros olefínicos, como el propileno y los polietilenos; es un polímero termoplástico constituido por unidades relativas de etileno, el cual fue inventado e inicialmente empleado para hacer jarras de agua y aros de hula (Hammer *et al.*, 2012). Es un polímero derivado de la polimerización de alcanos que han perdido un par de átomos de H, presenta una estructura de cadenas muy ramificadas, lo que hace que su densidad sea más baja que el polietileno de alta densidad. Este es un plástico con poca dureza, pero resistente al impacto y la elongación (Coicué y Sepúlveda, 2017).

El polietileno de baja densidad se obtiene de la polimerización del etileno a muy altas presiones, por la formación de radicales libres. Su relación masa/volumen comprende valores entre 0,910 a 0,925 g/cm³, mostrando propiedades que excluyen olor, color y toxicidad (Roca, 2005). Este material fue desarrollado y elaborado desde 1939 y es producido en grandes cantidades para diferentes fines hasta la actualidad, destacando características como flexibilidad, no arrugado. De la misma forma sus principales usos o presentaciones enfatizan las bolsas de pan, botellas de bebidas moldeadas por la técnica de soplado, juguetes y envoltura retráctil (Archna *et al.*, 2015).

e. Contaminación por plásticos

Los desechos plásticos que se generan diariamente se han convertido en una preocupación creciente y los impulsores detrás de ellos parecen continuar. El plástico es un material muy útil y se espera que sus aplicaciones aumenten a medida que se desarrollen más productos. El aumento del uso y la producción de plástico en los países en desarrollo y emergentes es una preocupación particular, ya que la sofisticación de su infraestructura de gestión de residuos puede no estar desarrollándose a un ritmo adecuado para hacer frente a sus crecientes niveles de generación de residuos plásticos (Thompson *et al.*, 2009).

Los plásticos aportan muchos beneficios sociales y prometen futuros avances tecnológicos y médicos. Sin embargo, surge inquietud sobre su uso y eliminación ya que incluye acumulación en vertederos y hábitats naturales, además, puede causar problemas físicos para la fauna ya sea por ingestión o enredo, la lixiviación de sus derivados y el potencial para transmitirse en la cadena trófica. Cerca del 4 % del petróleo mundial es usado para fabricar plásticos y una cantidad similar se utiliza como energía en el proceso; sin embargo, más del 30 % del plástico producido se utiliza para fabricar artículos de embalaje que generalmente son de un solo uso. Debido a la continua disminución de las reservas de este hidrocarburo y el incremento en eliminación de grandes volúmenes de residuos en vertederos ya no resulta sostenible. Por otro lado, se presentan alternativas de gestión que incluyen la reducción de material, reciclaje para la reutilización, materias primas biodegradables y políticas de manejo. Por último, se considera que todas estas medidas serán más efectivas si se articulan las entidades públicas, industria, comunidad científica y los responsables de la formulación de estrategias (Thompson *et al.*, 2009).

El uso y consumo desmedido de plástico a escala mundial está siendo considerada como una fuente de problemas que afectan cada vez más a nuestro planeta y por ende a las condiciones de vida de todos los seres vivos. Recalca también que, así como tiene ventajas sobre otros materiales por su ligereza, resistencia, economicidad y durabilidad; su mal manejo se transforma en un problema medio ambiental (Deutsche, 2017).

f. Degradación de plásticos

Se define como cualquier cambio físico o químico que se produce en el polímero como consecuencia de la incidencia de factores ambientales, como humedad, calor, condiciones químicas, luz o actividad de micro o macroorganismos. En otras palabras, se entiende por degradación a todos los cambios en las propiedades de los materiales tales como características ópticas, mecánicas, eléctricas, con agrietamiento, decoloración, erosión o ruptura de enlaces (Shah *et al.*, 2008).

El proceso de degradación se refiere a la transformación de las propiedades por acción física química o biológica, luego de que el material haya sido útil en alguna actividad específica. En lo referido a polímeros, la degradación afecta las propiedades físicas, químicas y/o mecánicas. Asimismo, los microorganismos presentes en el ambiente contribuyen de manera considerable al avance de la degradación (Bustamante, 1994).

g. Biodegradación de plásticos

La biodegradación se rige por diferentes factores que incluyen características del polímero (movilidad, cristalinidad, peso molecular, estructura y aditivos), tipo de organismo y naturaleza del pretratamiento; bajo esa premisa, los microorganismos del reino fungi y bacterias están involucrados en la degradación de plásticos tanto naturales como sintéticos. Esta se produce según los organismos que haya por cada tipo y propiedades del suelo. En la biodegradación los polímeros se transforman en monómeros para pasar a través de las membranas celulares, luego estos se mineralizan para que puedan ser absorbidos y biodegradados dentro de las células microbianas (Billen *et al.*, 2020).

Existen varios factores abióticos y bióticos que cumplen un rol muy importante para biodegradar el polietileno. Además, se han realizado estudios de biodegradación utilizando cultivos puros o comunidades microbianas complejas de diversos hábitats terrestres y marinos. También, se informó que la bioaugmentación con consorcios microbianos adaptados podría facilitar la biodegradación del polietileno; de tal modo, los gusanos de cera logran biodegradar más rápido que otras alternativas (Shah *et al.*, 2008).

1.2.2. Taxonomía de *Galleria mellonella*

Filo:	Arthropoda
Clase:	Insecta
Orden:	Lepidóptera
Familia:	Pyralidae
Subfamilia:	Galleriinae
Género:	<i>Galleria</i>
Especie:	<i>Galleria mellonella</i> (Lineaus, 1756)

1.2.3. Familia Pyralidae

Los pirálidos (Pyralidae) son una familia de lepidópteros glosados del clado Ditrysia, cuya distribución es a nivel mundial, pero con mayor abundancia en los trópicos (en áreas de gran biodiversidad), donde gran parte de estas larvas son fitófagas, es decir, se alimentan del follaje o partes blandas de las plantas (plantaciones agrícolas); asimismo, estas ovopositan sus huevos de dos a siete unidades sobre hojas, frutos y/o flores de los cuales se alimentan cuando eclosionan (Zumbado y Azofeifa, 2018).

A esta familia se atribuye un grupo importante de insectos de la orden de los lepidópteros, englobados en cinco subfamilias principales: Pyralinae, Phycitinae, Epipaschiinae, Galleriinae y Chrysauginae. También se puede decir que la mayoría se han identificado como plagas que pueden causar daños significativamente importantes para cultivos agrícolas y especies forestales. Una de las características más relevante es que las alas anteriores son alargadas y triangulares y el ala trasera es generalmente ancha. Además, esta especie en estadio de larva, su cuerpo es de forma cilíndrica y puntiagudo en ambos extremos, llegando a medir entre ocho a cuarenta milímetros y se alimentan de follaje, raíces y semillas; finalmente, en etapa de adulto, estas presentan bocas pequeñas, son de color opaco con palpos labiales proyectados (Ahmad *et al.*, 2017).

1.2.4. *Galleria mellonella*

Este insecto es un miembro de la subfamilia Galleriinae; familia Pyralidae; orden lepidóptera, conocido como polilla de la cera. Fue encontrado por primera vez en colmenas de abejas asiáticas y luego fue introducido en otros lugares, alcanzando una distribución a nivel mundial; posteriormente, estos insectos fueron identificados en Europa, África, América del Norte y Nueva Zelanda (Kwadha *et al.*, 2017). En la actualidad hay registros de la presencia de estos insectos en todas las partes donde se practica la apicultura y la agricultura, donde se ha convertido en una plaga. Las hembras de esta especie son polillas con comportamiento nocturno; es decir, suelen alimentarse por las noches y prefieren los lugares oscuros de los panales; asimismo, su tamaño oscila entre 0,8 a 1,7 cm y la abertura de sus alas varía desde los 1,4 a 3,8 cm, cuyo color está en la tonalidad de los grisáceos (Llorente, 2004).

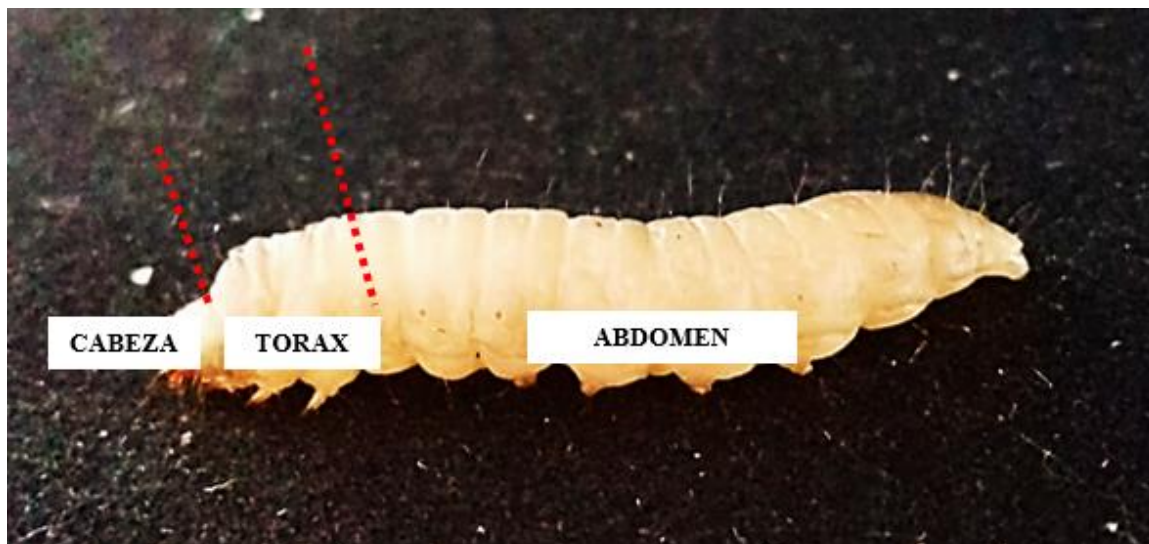
1.2.5. Morfología de *Galleria mellonella*

Según Zumbado y Azofeifa (2018) la morfología está constituida por (Figura 2):

- **Cabeza.** Conjunto de segmentos que forman una capa dura, en la parte alta del dorsal cuenta con ojos compuestos o algunas veces con ocelos frontales. Generalmente debajo de los ojos u ocelos presentan dos antenas que van desde forma de seta hasta de plumas. En la parte frontal inferior presenta la estructura bucal compuesta por mandíbulas, maxilas y labios.
- **Tórax.** Estructura de tres segmentos que cumple la función portadora de patas y alas; las patas se conectan al cuerpo a través de la coxa y se componen de fémur, tibia y tarso. Por su parte las alas tienen un esqueleto venoso con diferentes patrones que sirven para dar orientación a su vuelo cuando está en la etapa de polilla.
- **Abdomen.** Es la parte menos compleja, principalmente contiene el tracto digestivo con algunos espiráculos y el aparato reproductor en la parte posterior.

Figura 2

Partes de larva de *Galleria mellonella*



Nota: Elaboración propia

1.2.6. Ciclo biológico de *Galleria mellonella*

La polilla grande de la cera se desarrolla bastante rápido, en condiciones óptimas de temperatura y humedad. El tiempo promedio que demora en realizar el ciclo completo es de seis semanas. Los huevos generalmente son depositados en las celdillas de colmenas de abejas; luego, entre tres a cinco días eclosionan como larvas y se desarrollan de manera muy activa haciendo uso de su voracidad a través de un aparato masticador muy potente. A los 19 días y a temperaturas promedio de 32 °C las larvas crecen hasta empupar, después llega la fase de crisálida, tomando un tiempo promedio de 8 a 15 días. Una vez adultos se convierten en polillas y empiezan de nuevo el ciclo (Rodríguez, 2015).

El gusano de la cera es un insecto que se desarrolla en cuatro etapas de vida: huevo, larva, pupa y adulto que tarda de varias semanas a meses. Para el buen desarrollo de su ciclo de vida son necesarios temperaturas entre 29 a 33 °C y humedad relativa de 29 a 33 %. En cuanto eclosionan suelen volar a árboles cercanos. Para lograr reproducirse utilizan un mecanismo acústico consistente en que los machos emitan sonidos a través de un órgano que estimula a las hembras, que a su vez responden con la apertura de sus alas. Su ciclo de vida es de doce días para los machos y veintiuno para las hembras. Estos insectos normalmente

ovopositan entre 50 a 150 unidades en pequeñas grietas de preferencia de colmenas, los cuales demoran de 3 a 30 días para convertirse en larvas; al salir, las larvas se desplazan al interior de las colmenas y comienzan a alimentarse de la cera, miel, polen y crías de abejas, siendo más voraces en estadios tempranos. Demoran entre 28 días y 6 meses antes de convertirse en pupa (Kwadha *et al.*, 2017).

Urretabizkaya *et al.* (2010) destacan algunas características biológicas de esta orden de insectos, los cuales se detallan a continuación:

- **Reproducción:** Es de tipo sexual.
- **Multiplicación:** Son ovíparos.
- **Metamorfosis:** Contempla fases como huevo, larva, pupa y adulto.
- **Huevos:** Son ovoides, fusiformes, esféricos, lenticulares que no superan un milímetro de diámetro. Se tornan de amarillentos a oscuros cerca a eclosionar. Las hembras ovopositan hasta 300 unidades.
- **Larvas:** Tienen de dos o más patas, cabeza desarrollada, antenas cortas y una estructura por la que segrega seda. Se desarrollan durante 4 a 6 estadios ingiriendo vegetales. En la parte lateral de cada cilindro presenta un par de órganos respiratorios. Logran alcanzar de 23 a 28 milímetros. Esta etapa suele durar de uno a cuatro meses.
- **Pupa:** Son crisálidas que generalmente contienen comprimidas las futuras estructuras del lepidóptero, que finalmente emergen ejerciendo presión iniciando de la cabeza y luego las demás partes.

Asimismo, Kwadha *et al.* (2017), describen la morfología de la *Galleria mellonella* de la siguiente manera:

- **Huevos.** Tiene textura rugosa. El largo promedio es de 0,478 milímetros y el ancho es de 0,394 milímetros. Su color va de rosa-crema a blanco.
- **Larva.** Al salir del cascarón suele medir de uno a tres milímetros de largo y 0,12 a 0,15 mm de diámetro. En esta etapa aún no se puede identificar el sexo. Cuenta con seis patas. Su color torna de blanco crema hasta oscurecerse. Tiene tres dientes apicales y antenas retráctiles.
- **Pupa:** Mide de 0,12 a 0,2 centímetros de largo y de 0,5 a 0,7 centímetros de diámetro. Las hembras generalmente presentan pupas más grandes que los machos. En este estado el lepidóptero tiene las patas adheridas al cuerpo. Su color inicial torna de blanco a amarillo, pero se va oscureciendo a tonos de marrón desde el más claro al más oscuro según va desarrollándose. Cuenta con dos ojos sobresalientes y antenas. Esta etapa generalmente se da en capullos envueltos en seda.
- **Adulto:** Una polilla hembra adulta suele pesar en promedio 169 miligramos y medir 31 milímetros siendo el macho más pequeño y de tonalidad más clara, aunque es dependiente de la dieta alimenticia. Tienen una pata de seis partes: coxa, fémur, trocánter, tibia, tarso y pretarso.

Kumar y Khan (2018) estudiaron el ciclo de vida *Galleria mellonella* en diferentes condiciones ambientales. Durante su investigación detectaron cambios en la fecundidad, incubación, eclosión, estado larval y pupa, resaltando que la eclosión más larga se da en temperaturas de 2,5 a 24 °C, con humedad entre 44 a 100 %; sin embargo, sucede todo lo contrario cuando la eclosión se da en temperaturas de 28 ± 2 °C y humedad relativa de 65 %; asimismo, resaltan que se obtiene mayor porcentaje de eclosión en los huevos puestos en incubadora. El ciclo completo demora de 4 semanas a 6 meses, siendo la etapa prepupal la que determina la duración del ciclo, resaltando cuatro etapas: huevo, larva, pupa y etapa adulta; asimismo, las polillas hembras ovopositan de 3 a 6 centenares de huevos en un periodo de 4 a 5 días, luego eclosionan entre 5 a 30 días dependiendo de los factores ambientales. En estado pupal el color de la larva se torna blanco pardusco a marrón oscuro durando entre 7 a 60 días; asimismo, en su etapa final o adulta son de color grisáceo a marrón violáceo y alas de color grisáceo, alcanzando de 10 a 18 mm de largo. Finalmente concluyen

que los huevos sometidos a temperaturas extremas causan mayor índice de mortalidad; por otro lado, resalta la capacidad de sobrevivir a ambientes con escasez de alimentos, pero en condiciones alimentarias deficientes pueden llegar al canibalismo.

Los huevos de *Galleria mellonella* son rugosos y de color blanco perlado a rosa claro; las hembras de la especie ponen entre 50 a 150 huevos y se desarrollan mejor entre 29 a 35 °C; caso contrario, en temperaturas extremas frías o calientes. En estado larval miden de 1 a 3 mm, son de cabeza amarillenta y las patas torácicas y abdominales demoran hasta 3 días en hacerse visibles. Como larva tiene de 6 a 55 días, luego se vuelve marrón claro y va oscureciendo hasta alcanzar 20 mm de largo. Finalmente, en etapa adulta logran los 31 mm con color grises, siendo los machos más pequeños que las hembras y con antenas más pequeñas (Ellis *et al.*, 2013).

1.2.7. Reproducción y crianza de *Galleria mellonella*

Mohamed y Coppel (1983) afirman que no tuvieron problemas para reproducir individuos de *Galleria mellonella* a escala industrial dado que usaron y probaron durante 1,5 años ingredientes como agua desionizada precocida, miel, glicerina, cera de abejas, colesterol, polyvisol (suplemento multivitamínico) y cereal de alimentos para bebés (Gerber's Hi-Protein); además, resaltan que los insumos utilizados fueron relativamente módicos, resultando en un costo por larva (excluyendo la mano de obra) de US \$ 0,2 a 0,3, e incluyendo una dedicación de 3-5 horas por semana para el mantenimiento y cosecha de un promedio de 5000 a 10 000 individuos en cualquier etapa de la polilla.

Restrepo *et al.* (2019) en su investigación optaron por multiplicar el desarrollo de *Galleria mellonella* a través del uso de las distintas fuentes de miel como la azúcar morena, miel de abeja, miel de panela, miel de purga y panela pulverizada; además, determinaron el costo de producción en dietas para su desarrollo, para ello, partieron de una dieta denominada artificial en la que se empleó estas distintas fuentes de miel mencionadas a partir de la fuente principal de miel. Se tuvo como resultados, que la miel de abeja, de panela y panela pulverizada, como fuente de alimentación generan crecimiento similar en las larvas; pero, el mejor índice de crecimiento se evidenció al agregar azúcar a la dieta ya que la duración del

cambio de huevo a adulto se redujo a 59,5 días promedio, generando menor costo de producción (- 22 %); por otro lado, la miel de purga propició ciclos de vida más extensos de hasta 104,8 días. Finalmente, llegaron a la conclusión de que la dieta del azúcar es una opción viable para sustituir a la miel de abejas (dieta común), reflejándose reducción importante de costos de producción.

Realpe *et al.* (2007), realizaron una investigación sobre la optimización de la producción de *Galleria mellonella*. La finalidad fue criar *Galleria mellonella* y generar condiciones para el desarrollo de dos nematodos (*Steinernema colombiense* y *Heterorhabditis bacteriophora*) reguladores de la broca del café. Los resultados concluyentes fueron que el ciclo de vida de *Galleria mellonella* se acorta en función del incremento de la temperatura; del mismo modo, evaluaron el ciclo del huevo a adulto que se desarrolló entre 178, 82 y 62 días, a las temperaturas de 20, 25 y 30 °C; en esto, se determinó que la temperatura óptima para criar *Galleria mellonella* en un laboratorio es de 25 °C. También se evaluó la tasa de ovoposición mediante cuatro densidades en parejas de larvas de cera (50, 100, 150 y 200) en jaulas cúbicas de 50 cm de lado y se halló que la ovoposición incrementa cuando de igual manera aumenta la densidad hasta 150 polillas, con una ovoposición más alta y registrándose el mayor número de huevos (60,612). Finalmente, los autores concluyeron que la densidad óptima de obtener gran cantidad de larvas y menor mortalidad es de 300 huevos/300g de dieta de *Galleria mellonella*.

1.2.8. Biodegradación de PET por *Galleria mellonella*

Biodegradar consiste en reducir el peso molecular de un polímero, ya sea alterando la estructura física y/o química (Ccallo *et al.*, 2020); este lepidóptero tiene por naturaleza alimentarse de restos de panales de abejas, dado que están compuestos por ácidos grasos, ésteres, alquenos, lípidos y alcanos; lo mismo ocurre con PET a relativa rapidez, pero aún no ha logrado descubrir si se logra por acción propia de la larva o por actividad de su microflora intestinal (Wojda *et al.*, 2020). La biodegradación de plásticos por microorganismos como las larvas logran el objetivo de descomponer ciertos polímeros, aunque mejores resultados se logran con insectos y microorganismos intestinales (Suresh y Chandrabanda, 2019).

CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Diseño de la investigación

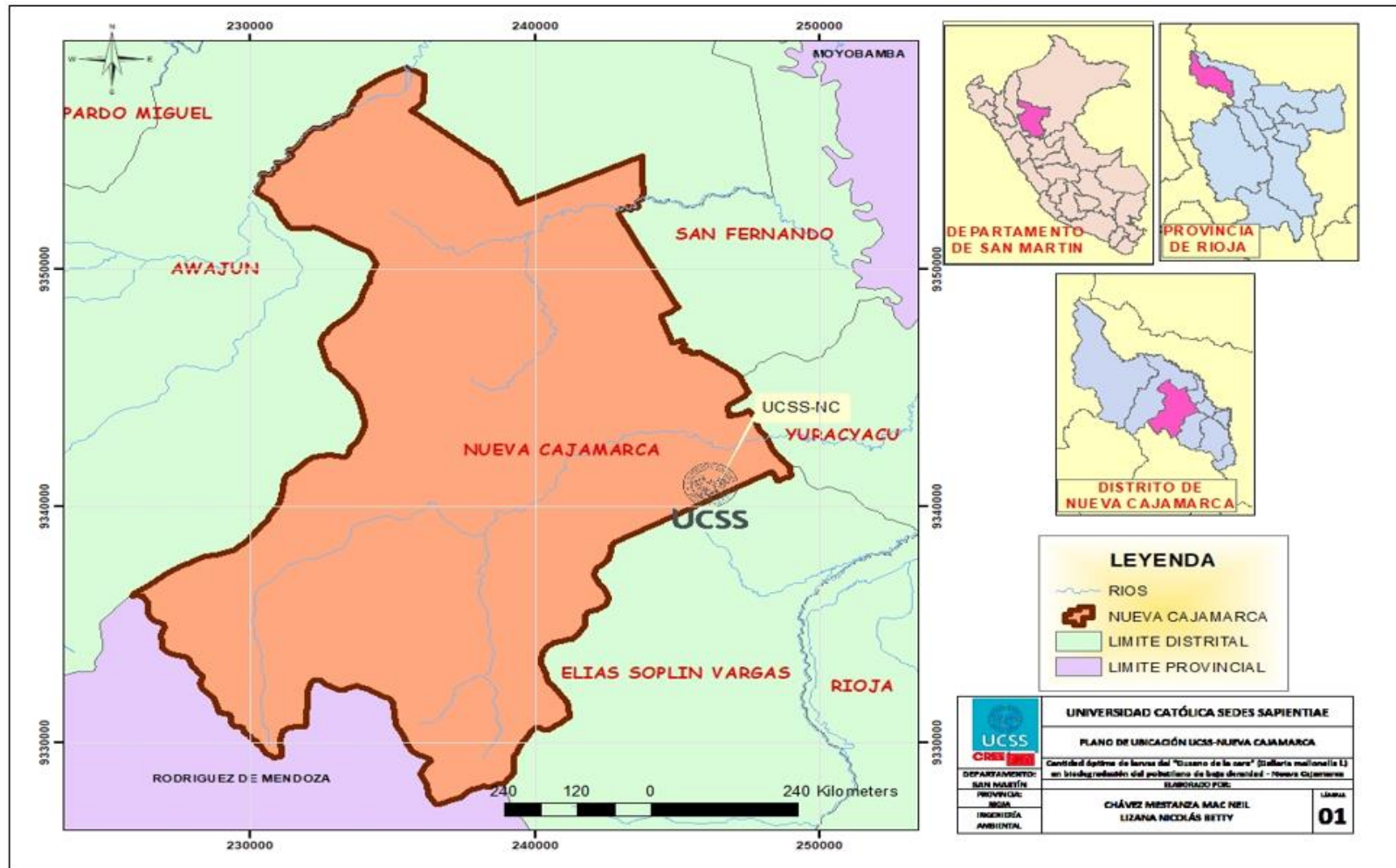
El presente estudio tuvo un enfoque cuantitativo, donde fueron usados instrumentos de medición y comparación y analizados con la ayuda de métodos estadísticos (Palella y Martins, 2012). Los datos recolectados se registraron en fichas de registro de masa y tiempos de biodegradación. El diseño fue de tipo experimental, ya que, se manipuló una de las variables de estudio. Fueron aplicados tres cantidades diferentes de larvas de *Galleria mellonella*, con el objetivo de degradar 5 g del polietileno de baja densidad, buscando identificar cuál de ellas es la cantidad óptima para llevar a cabo dicho proceso, bajo las condiciones de laboratorio. El alcance de la investigación fue descriptivo, porque se buscó describir las características de un determinado fenómeno a analizar (Hernández *et al.*, 2014).

2.2. Lugar y fecha

El trabajo de investigación se realizó en dos lugares. La recolección, selección y crianza de larvas se hizo en la parcela del señor Moisés Rimapa Pastor (Figura 4), con coordenadas UTM E: 281 775 y S: 932 396 7, el cual está ubicada en el caserío San Andrés, distrito de Jepelacio y provincia de Moyobamba, a una altitud de 1260 m s.n.m., donde la temperatura promedio osciló entre 16 y 28 °C. La parte experimental de la investigación se realizó en el Laboratorio General de Ciencias Básicas II de La Universidad Católica Sedes Sapientiae, cuyas coordenadas UTM son E: 246 165 y S: 934 035 1, ubicado en el distrito de Nueva Cajamarca, provincia de Rioja, departamento de San Martín. Asimismo, se encuentra ubicada a una altitud de 875 m s.n.m., cuya temperatura promedio osciló entre 18 y 28 °C. (Figura 3). La ejecución del proyecto de investigación empezó en noviembre del 2020 y terminó en agosto del 2021.

Figura 3

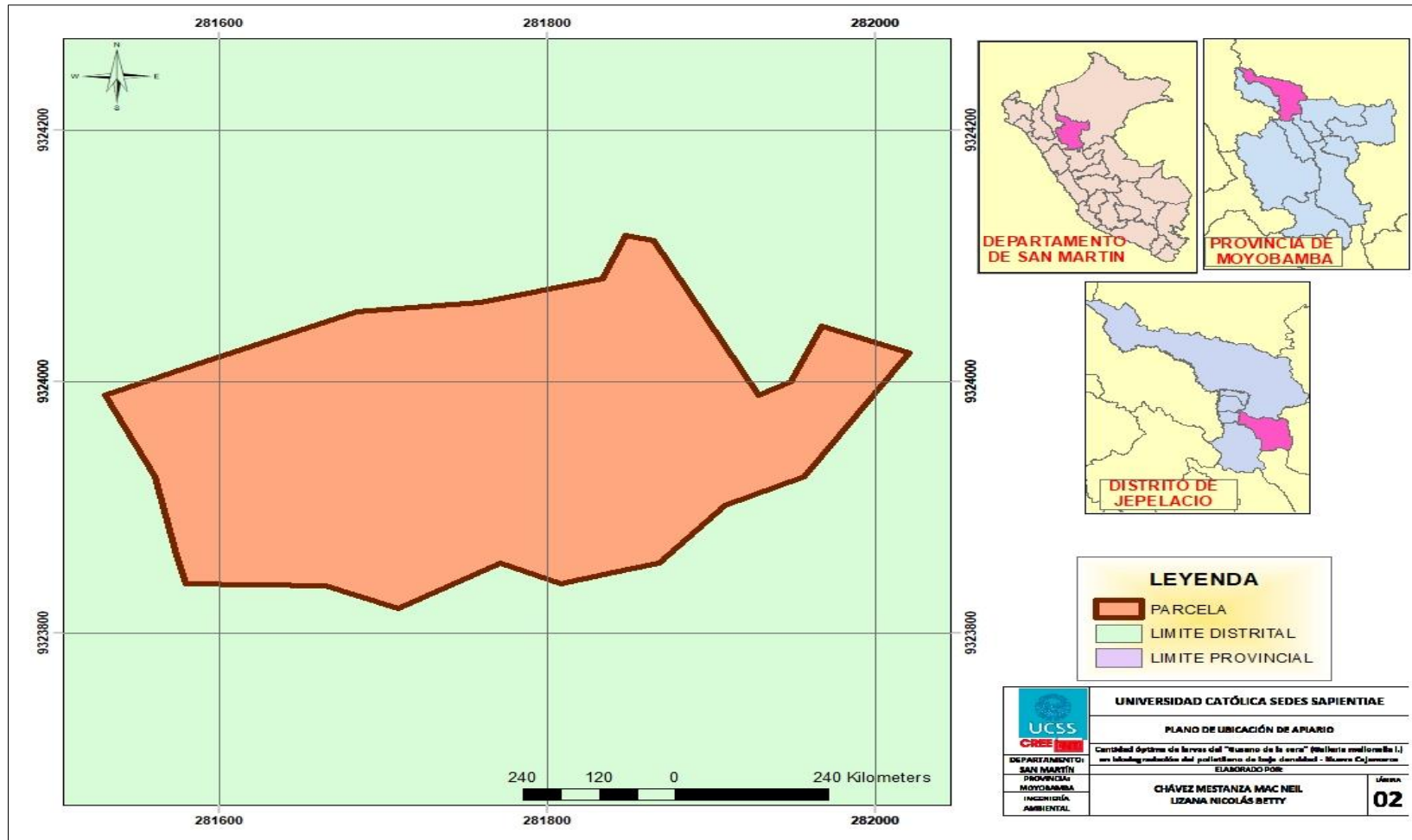
Mapa de ubicación del Distrito de Nueva Cajamarca



Nota. Elaboración propia.

Figura 4

Mapa de ubicación de la parcela



Nota. Elaboración propia.

2.3. Descripción del experimento

El experimento consistió en utilizar larvas de *Galleria mellonella* para evaluar su capacidad biodegradadora del polietileno de baja densidad en 48 horas por cada unidad experimental. El desarrollo estuvo estructurado en tres fases: fase de campo, fase de laboratorio y fase de gabinete, donde cada uno de ellos se detalla a continuación:

FASE DE CAMPO

a. Coordinación con apicultor

En esta parte de la investigación se coordinó con el Sr. Moisés Rimapa Pastor, quien se dedica a la crianza de abejas y eventualmente sus colmenas son atacadas por la polilla del gusano de cera (Figura 5 y 6)

Figura 5

Colonias invadidas por la polilla de la cera



Nota. Elaboración propia.

Figura 6

Ubicación de las colmenas



Nota. Elaboración propia.

b. Acondicionamiento de colmenas en desuso

Siguiendo la metodología propuesta por Realpe *et al.* (2007), se identificó las colmenas en desuso. Con la ayuda de una espátula de apicultor se retiraron 10 panales para posteriormente acondicionarlos con miel y cera de abeja los cuales sirvieron para atraer y capturar polillas adultas. Luego de 24 horas de haber sido acondicionados los 10 panales que sirvieron como trampa, de manera aleatoria se seleccionaron 32 polillas (teniendo en cuenta uniformidad en el tamaño), los cuales fueron colocadas en una colmena reorganizada con restos de panal de abeja, una mezcla artificial-masa semiprensada (100 ml de miel de abeja, 50 g de cera de abejas, 50 g de salvado de maíz) y abanicos de cartón (Figura 7) donde las polillas ovopositaron los huevos para posteriormente realizar la captura de larvas y ser utilizados en el proceso de experimentación.

Figura 7

Polillas ovopositando en abanicos de cartón



Nota. Elaboración propia.

c. Crianza y selección de larvas de *Galleria mellonella*

Durante los próximos tres días de haber acondicionado la colmena, las 32 polillas adultas seleccionadas ovopositaron los huevos. Posterior a ello fueron necesario entre 15 a 20 días para que estos eclosionen (Figura 8).

Figura 8

*Huevos de *Galleria mellonella**



Nota. Elaboración propia.

Luego de la eclosión de los huevos se obtuvieron 525 larvas las cuales fueron monitoreadas durante 25 a 30 días hasta que alcanzaran el tamaño que oscila entre 20 a 30 mm para ser utilizados en la investigación las mismas que se encontraban en el cuarto estadio (Figuras 9 y 10).

Figura 9

Larvas de Galleria mellonella



Nota. Elaboración propia.

Figura 10

Larva de galleria mellonella a los 25 días



Nota. Elaboración propia.

Los individuos cuyas medidas oscilaron entre 20 a 30 mm (Realpe *et al.*, 2007) fueron colocadas en baldes transparentes de 5 l de capacidad para ser transportados desde el apiario del Sr. Moisés hacia el Laboratorio General de Ciencias Básicas II de la Universidad Católica Sedes Sapientiae Filial Rioja: Nueva Cajamarca (ver Apéndice 3).

FASE DE LABORATORIO

La fase de laboratorio fue desarrollada siguiendo la metodología establecida por Realpe *et al.* (2007), el cual se detalla a continuación:

- A nivel de laboratorio se preparó el sustrato para el acondicionamiento de las larvas, el cual estuvo constituido de una masa de 50 g de salvado de maíz y 50 ml de miel (ver Apéndice 1 y 2), y fue colocado en la base de cada uno de los 16 baldes (15 unidades experimentales más 01 testigo) (Figura 11).

Figura 11

Adición de sustrato



Nota. Elaboración propia.

- Por otro lado, se registró la masa inicial de las bolsas pre-biodegradación con la ayuda de una balanza gravimétrica, con la finalidad de calcular el porcentaje de masa biodegradada al final del proceso para ello se usaron 16 muestras de 5 g de bolsas de polietileno de baja

densidad (Figura 12). También se registró la temperatura y humedad relativa en cada repetición (Apéndice 21).

Figura 12

Pesado de bolsas



Nota. Elaboración propia.

- Luego, las muestras (bolsas) y larvas fueron agregadas según detalle de cada unidad experimental (Figura 13).

Figura 13

Sustrato más bolsas de LDPE



Nota. Elaboración propia.

- Para evitar la salida de los Lepidópteros la abertura de los baldes fue cubierta con una tela (Figura 14) que hizo la función de tapa y permitió la ventilación (Revilla, 2018).

Figura 14

Bolsas de los tratamientos cubiertas con una tela



Nota. Elaboración propia.

- Finalmente, fueron sometidas a las condiciones ambientales del laboratorio durante 48 horas por cada unidad experimental. Después del periodo de biodegradación fueron separadas las larvas del LDPE con ayuda de una escobilla de laboratorio para eliminar los residuos dentro del plástico; no observándose cambios significativos tanto en color y tamaño. Luego se realizó el pesaje y registro de las masas finales de las bolsas de polietileno de baja densidad cuyos resultados obtenidos fueron los valores a analizar.

FASE DE GABINETE

En esta fase se realizaron los análisis estadísticos correspondientes con el software R y Microsoft Office Excel. Por otro lado; se recopiló, analizó y sintetizó información relevante y coherente de diversas fuentes fiables.

2.4. Tratamientos

Se establecieron tres tratamientos (Tabla 2) más un testigo, los cuales estuvieron definidos por diferentes cantidades de larvas más 5 g de LDPE: T1=10 unidades, T2=15 unidades y T3=20 unidades del gusano de la cera; más la dieta preparada a base de salvado de maíz y

miel de abeja (ver Apéndice 4 y 5). Siguiendo el modelo de investigación de Jiménez (2019), quien usó 5 g de otro polímero-Poliestireno, se optó por realizar el estudio en base a 5 g de LDPE.

Tabla 2

Tratamientos

Tratamientos	Clave	Descripción
Tratamiento 0	T0	5 g de LDPE* sin larvas de <i>G. mellonella</i>
Tratamiento 1	T1	Larvas de <i>G. mellonella</i> (10 unid.) + 5 g de LDPE
Tratamiento 2	T2	Larvas de <i>G. mellonella</i> (15 unid) + 5 g de LDPE
Tratamiento 3	T3	Larvas de <i>G. mellonella</i> (20 unid) + 5 g de LDPE

Nota. Elaboración propia.

*LDPE: Polietileno de baja densidad.

2.5. Unidades experimentales

Una unidad experimental se define como cada individuo que compone las repeticiones de cada tratamiento (Walpole *et al.*,2012). Los tratamientos fueron 3 y cada uno de ellos con 5 repeticiones, resultando 15 unidades experimentales, cada una constituida por un balde de 5 L de capacidad conteniendo un número de larvas según tratamiento, las cuales estuvieron en contacto con los 5 g de LDPE.

2.6. Identificación de las variables y su mensuración

a. Variable dependiente

Biodegradación del plástico

b. Variable independiente

Cantidad de larvas de *Galleria mellonella*

El estudio de las variables y su mensuración, se encuentran detalladas en la Tabla 3.

Tabla 3*Identificación de variables y su mensuración*

Variable	Dimensiones	Indicadores	Escala	Técnica	Instrumento
Dependiente: Biodegradación del plástico	Degradación del plástico	Masa del plástico inicial (M_i)	Ordinal (g)	Gravimetría	Balanza gravimétrica
				Observación	Ficha de masas iniciales
		Masas del plástico final (P_f)	Ordinal (g)	Gravimetría	Balanza gravimétrica
				Observación	Ficha de masas finales
		Tiempo	Ordinal (48 horas)	Observación	Ficha de tiempo
	Eficiencia de degradación	Porcentaje de eficiencia	Ordinal (%)	Fórmula: $\% = \frac{M_i - M_f}{M_i}$	Ficha de eficiencias
Independiente: Cantidad de larvas de <i>Galleria mellonella</i>	Características físicas	Nº de larvas	Ordinal (unidad)	Observación	Ficha de observación

Nota: Adaptado de Revilla (2018).

2.7. Diseño estadístico del experimento

Se utilizó el diseño completo al azar (DCA), con tres tratamientos y cinco repeticiones, debido a que las unidades experimentales (15) fueron sometidas bajo condiciones de laboratorio similares, y que cada unidad experimental tuvo la misma probabilidad de recibir un tratamiento particular.

2.8. Análisis estadístico de datos

Luego de haber ejecutado la etapa de campo los datos obtenidos fueron registrados en tablas y fichas, haciendo uso del software Excel 2016 (ver Apéndice 7 y 8), para su posterior análisis e interpretación. Asimismo, fue usada estadística descriptiva (ver Apéndice 9, 10, 11 y 12): promedio, desviaciones estándar; gráficos de medias, boxplot e intervalos de confianza.

La prueba de Shapiro Wilk fue usado para conocer si los residuos provienen de una distribución normal (ver Apéndice 17 y 18). Además, para confirmar la rigurosidad estadística de los datos obtenidos se analizó la igualdad de varianzas u homocedasticidad de valores a través de la Prueba de Bartlett (ver Apéndice 19 y 20). Asimismo, para el análisis inferencial fue considerado el estadístico ANOVA de un solo factor (ver Apéndice 13 y 14), ya que fueron analizados el número de larvas y su biodegradación a 48 horas de exposición en polietileno de baja densidad. El método de comparaciones múltiples de Tukey sirvió para saber a detalle sobre las diferencias entre las medias (ver Apéndice 15 y 16). Para el procesamiento de los datos estadísticos se usó el software R Studio versión 3.6.0.

2.9. Materiales

Fueron adquiridos los siguientes materiales para llevar a cabo el proceso de investigación (ver Apéndice 6)

- **Recipientes.** Estos fueron baldes de plástico de cinco litros de capacidad los cuales estuvieron debidamente acondicionados para albergar a los individuos sometidos a investigación y una cantidad determinada del polietileno de baja densidad.
- **Tela.** Para cubrir los recipientes e impedir que las larvas huyan o que otros insectos ingresen, además, para permitir la aireación.
- **Bolsas plásticas de baja densidad.** Se adquirieron 75 g de bolsas plásticas transparentes de polietileno de baja densidad.
- **Gautes quirúrgicos.** Se obtuvieron para la manipulación de las larvas y las bolsas de polietileno.
- **Balanza gravimétrica.** Con aproximación de 0,01 g para el pesado de las muestras.
- **Colmenas en desuso.** Sirvieron para llevar a cabo el proceso de aislamiento y captura de larvas.
- **Abanicos de cartón.** Para generar espacios de ovoposición de la polilla.

Asimismo, se adquirieron los siguientes insumos detallados en la metodología:

- 800 g de salvado de maíz, 50 g por cada unidad experimental.
- 1,75 l de miel de abeja.

CAPÍTULO III: RESULTADOS

3.1. Porcentaje de eclosión de los huevos y supervivencia de la larva del gusano de la cera hasta someterlo a experimento en laboratorio

Se seleccionaron 32 polillas adultas, las cuales ovopositaron 1800 huevos de los cuales eclosionaron 1100 (61 %) generando 525 larvas de 20 a 30 mm que fueron utilizadas en el proceso de biodegradación del LDPE; es decir, la supervivencia de las larvas fue del 47,72 % frente al total de huevos eclosionados, de las cuales se usaron 225 unidades (Tabla 4).

Tabla 4

Producción de larvas

Producción de larvas	Cantidad
Polillas aisladas	32
Cantidad de huevos producidos	1 800
Huevos eclosionados	1 100
Huevos no eclosionados	700
Cantidad de larvas óptimas	525
Larvas usadas	225

Nota. Elaboración propia.

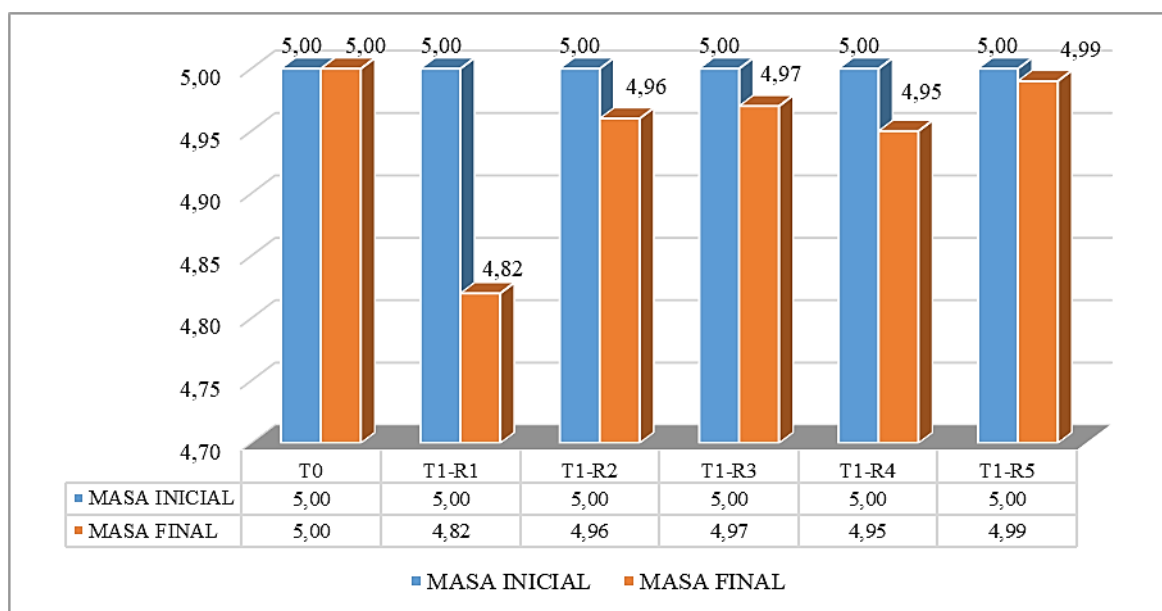
3.2. Variación de masas de LDPE por acción de *Galleria mellonella* por tratamiento a 48 horas de exposición

- **Variación de masas de LDPE en repeticiones del tratamiento T1**

En la Tabla 5 y Figura 15 se observan las masas iniciales y finales obtenidas del tratamiento T1. La mayor cantidad de masa de LDPE biodegradada por *Galleria mellonella* fue en T1-R1 con 0,18 g (3,6 %), seguido por T1-R4 0,05 g (1 %) y el valor más bajo lo obtuvo T1-R5 con 0,01 g (0,2 %).

Tabla 5*Variación de masas en repeticiones del T1*

Descripción	Tratamiento	Repetición	Codificación	Masa inicial	Masa final
Sin larvas de <i>G. mellonella</i> (control)	0	0	T0	5,00	5,00
Larvas de <i>G. mellonella</i> (10) + 5 g de LDPE	1	1	T1-R1	5,00	4,82
	1	2	T1-R2	5,00	4,96
	1	3	T1-R3	5,00	4,97
	1	4	T1-R4	5,00	4,95
	1	5	T1-R5	5,00	4,99

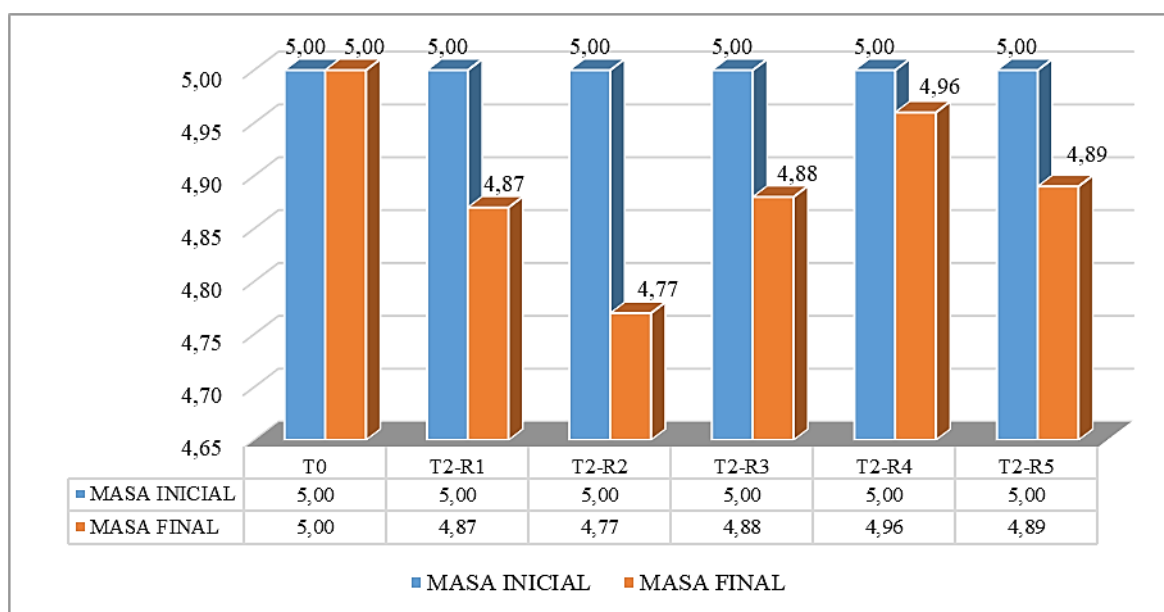
Nota. Elaboración propia.**Figura 15***Variación de masas en repeticiones del T1**Nota.* Elaboración propia

- **Variación de masas de LDPE en repeticiones del tratamiento T2**

En la Tabla 6 y Figura 16 se observan las masas iniciales y finales de los resultados del tratamiento T2. La mayor cantidad de masa biodegradada por *Galleria mellonella* fue en T2-R2 con 0,23 g (4,6 %), T2-R1 registró un valor de 0,13 g (2,6 %) y el valor más bajo lo obtuvo T2-R4 con 0,04 g (0,8 %).

Tabla 6*Variación de masas en repeticiones del T2*

Descripción	Tratamiento	Repetición	Código	Masa inicial	Masa final
5 g de LDPE sin larvas de <i>G. mellonella</i> (control)	0	0	T0	5,00	5,00
Larvas de <i>G. mellonella</i> (15) + 5 g de LDPE	2	1	T2-R1	5,00	4,87
	2	2	T2-R2	5,00	4,77
	2	3	T2-R3	5,00	4,88
	2	4	T2-R4	5,00	4,96
	2	5	T2-R5	5,00	4,89

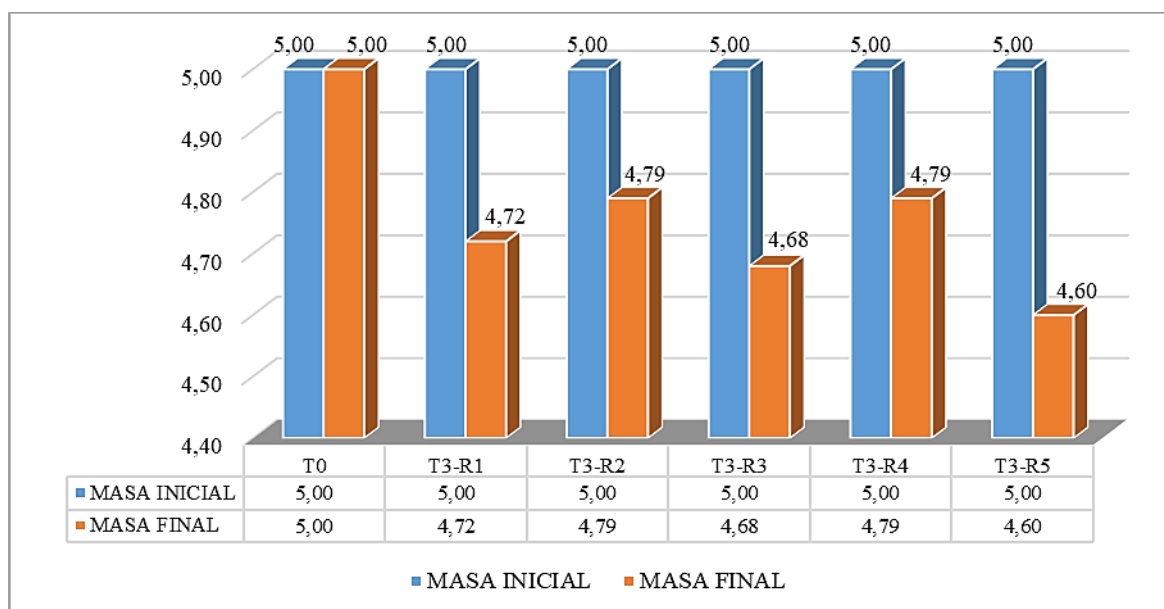
Nota. Elaboración propia.**Figura 16***Variación de masas en repeticiones del T2**Nota.* Elaboración propia.

- **Variación de masas de LDPE en repeticiones del tratamiento T3**

En la Tabla 7 y Figura 17 se observan las masas iniciales y finales de los resultados del tratamiento T3. La mayor cantidad de masa biodegradada por *Galleria mellonella* fue en T3-R5 con 0,40 g (8 %), seguido por T3-R3 con 0,32 g (6,4 %) y el valor más bajo obtenido fue en T3-R2 y T3-R4 con 0,21 g (4,2 %).

Tabla 7*Variación de masas en repeticiones del T3*

Descripción	Tratamiento	Repetición	Código	Masa inicial	Masa final
5 g de LDPE sin larvas de <i>G.</i> <i>mellonella</i> (control)	0	0	T0	5,00	5,00
	3	1	T3-R1	5,00	4,72
Larvas de <i>G.</i> <i>mellonella</i> (20) + 5 g de LDPE	3	2	T3-R2	5,00	4,79
	3	3	T3-R3	5,00	4,68
	3	4	T3-R4	5,00	4,79
	3	5	T3-R5	5,00	4,60

Nota. Elaboración propia.**Figura 17***Variación de masas en repeticiones del T3**Nota.* Elaboración propia.

- **Variación de masas promedio de LDPE en tratamiento T1**

La variación promedio de las cinco repeticiones del tratamiento T1 fue de 0,06 g en 5 g de LDPE post biodegradación (Tabla 8 y Figura 18).

Tabla 8

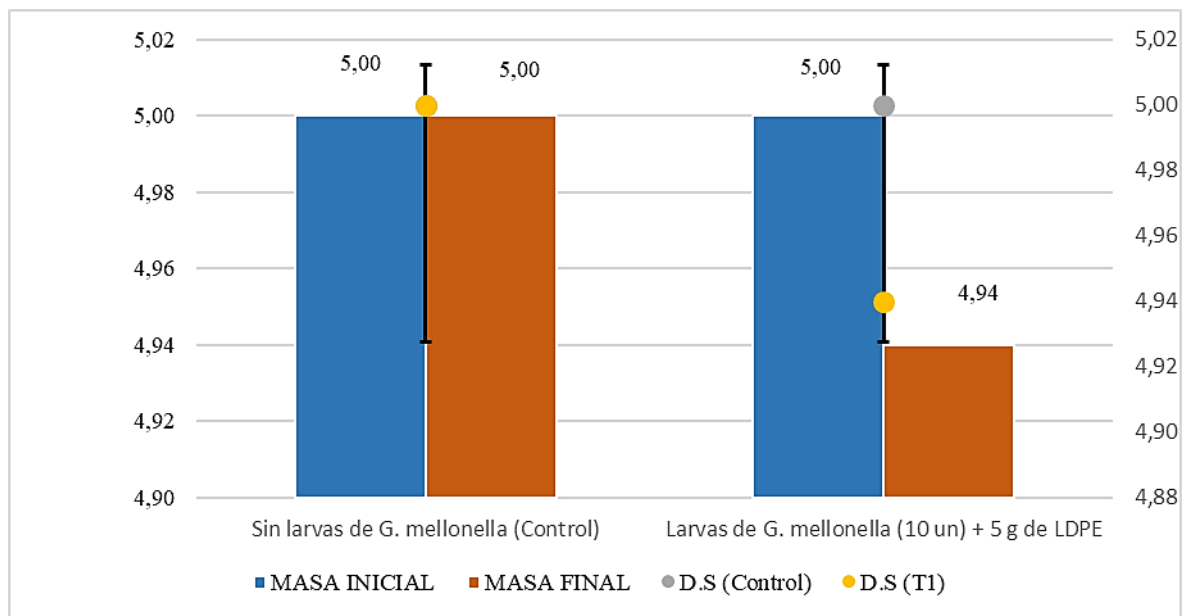
Variación de masas promedio del T1

Descripción	Masa inicial	Masa final promedio	Desviación estándar
5 g de LDPE sin larvas de <i>G. mellonella</i> (control)	5,00	5,00	0,000
Larvas de <i>G. mellonella</i> (10 un) + 5 g de LDPE	5,00	4,94	0,042

Nota. Elaboración propia.

Figura 18

Variación de masas promedio del T1



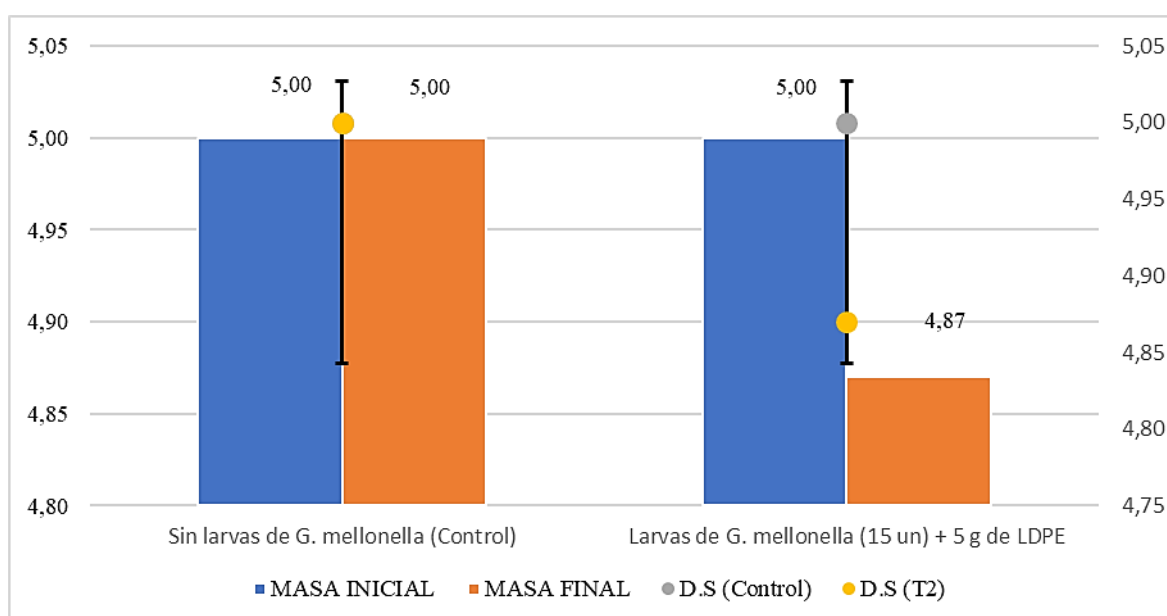
Nota. Elaboración propia.

- **Variación de masas promedio de LDPE en tratamiento T2**

Según la Tabla 9 y Figura 19 en el tratamiento T2 la variación promedio de las cinco repeticiones fue de 0,13 g en 5 g de LDPE post biodegradación.

Tabla 9*Variación de masas promedio del T2*

Descripción	Masa inicial	Masa final promedio	Desviación estándar
5 g de LDPE sin larvas de <i>G. mellonella</i> (control)	5,00	5,00	0,000
Larvas de <i>G. mellonella</i> (15 un) + 5 g de LDPE	5,00	4,87	0,092

Nota. Elaboración propia.**Figura 19***Variación de masas promedio del T2**Nota.* Elaboración propia.

- **Variación de masas promedio de LDPE en tratamiento T3**

En la Tabla 10 y Figura 20 se observa el promedio de las cinco repeticiones del tratamiento T3; este valor fue de 0,28 g en 5 g de LDPE post biodegradación.

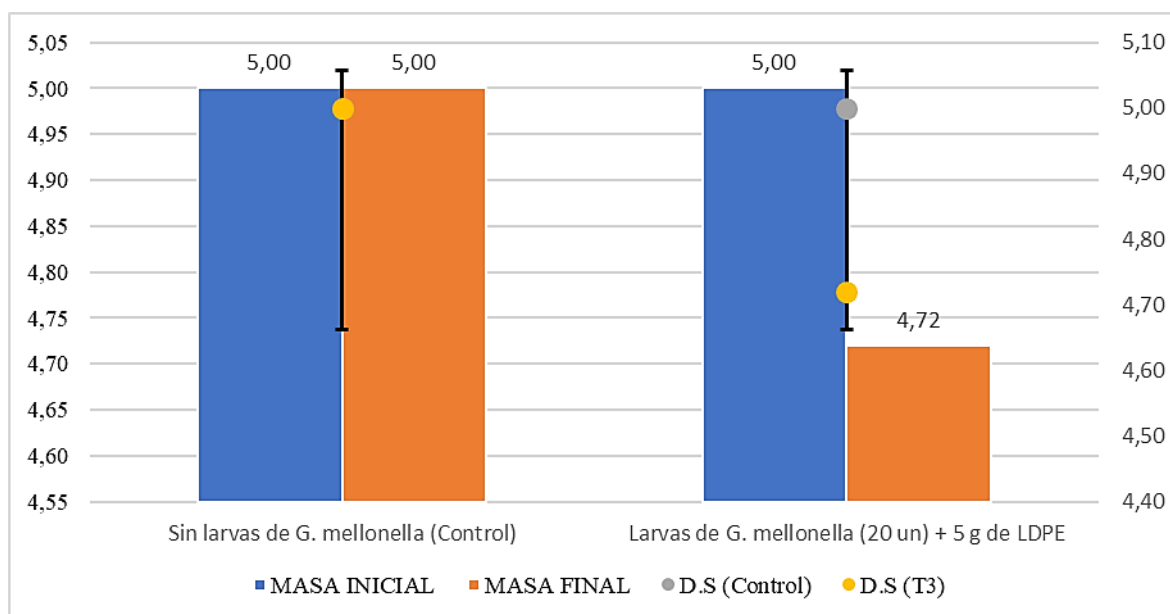
Tabla 10*Variación de masas promedio del T3*

Descripción	Masa inicial	Masa final promedio	Desviación estándar
5 g de LDPE sin larvas de <i>G. mellonella</i> (control)	5,00	5,00	0,000
Larvas de <i>G. mellonella</i> (15 un) + 5 g de LDPE	5,00	4,72	0,198

Nota. Elaboración propia.

Figura 20

Variación de masas promedio del T3



Nota. Elaboración propia

- **Variación de masas promedio de LDPE en tratamientos T1-T2- T3**

Según la Tabla 11 y Figura 21 se obtuvieron variaciones promedio de 0,06 g para el tratamiento 1 (T1); 0,13 g para el tratamiento 2 (T2) y 0,28 g para el tratamiento 3 (T3). De tal manera, se evidencia que el T3 logró mejores resultados frente a T2 y T1, denotado como $T3 > T2 > T1$.

Tabla 11

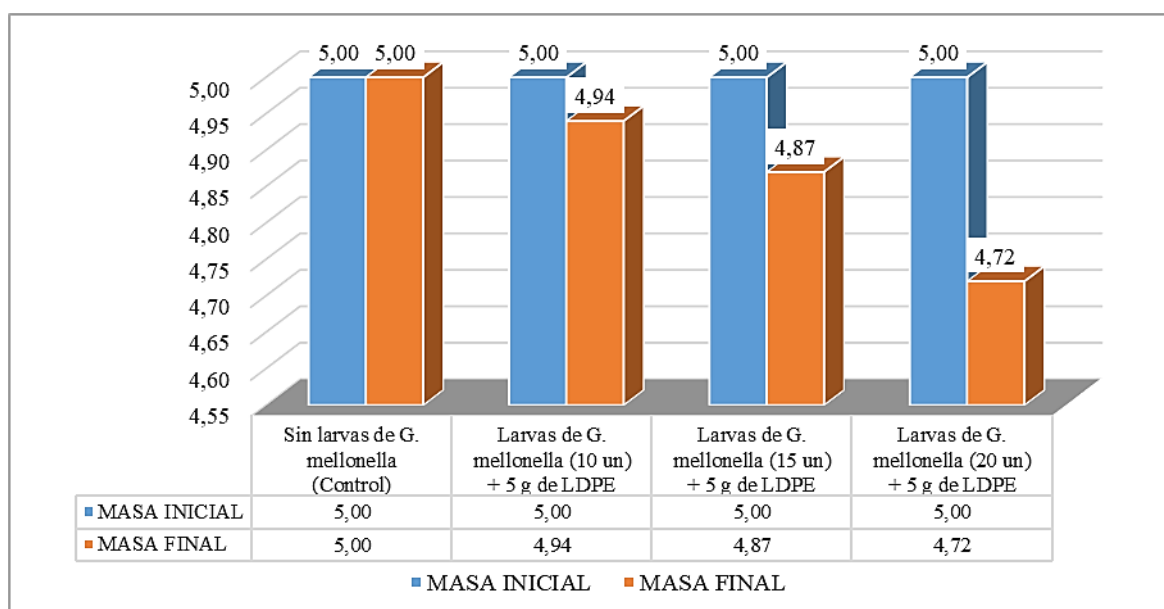
Variación de masas promedio de T1-T2-T3

Descripción	Masa inicial	Masa final promedio	Desviación estándar
5 g de LDPE sin larvas de <i>G. mellonella</i> (control)	5,00	5,00	0,000
Larvas de <i>G. mellonella</i> (10) + 5 g de LDPE	5,00	4,94	0,042
Larvas de <i>G. mellonella</i> (15) + 5 g de LDPE	5,00	4,87	0,092
Larvas de <i>G. mellonella</i> (20) + 5 g de LDPE	5,00	4,72	0,198

Nota. Elaboración propia.

Figura 21

Variación de masas promedio de T1-T2-T3



Nota. Elaboración propia.

3.3. Porcentaje de biodegradación de LDPE por tratamiento a 48 horas de exposición a larvas de *Galleria mellonella*

- **Porcentaje de biodegradación de LDPE por acción de *Galleria mellonella* en repeticiones del T1**

En el tratamiento 1 se obtuvo mayor porcentaje de biodegradación en la repetición 1 (3,60 %) y el menor en la repetición 5 (0,20 %) en 5 g de LDPE post biodegradación (Tabla 12 y Figura 22).

Tabla 12

Porcentaje de biodegradación en repeticiones de T1

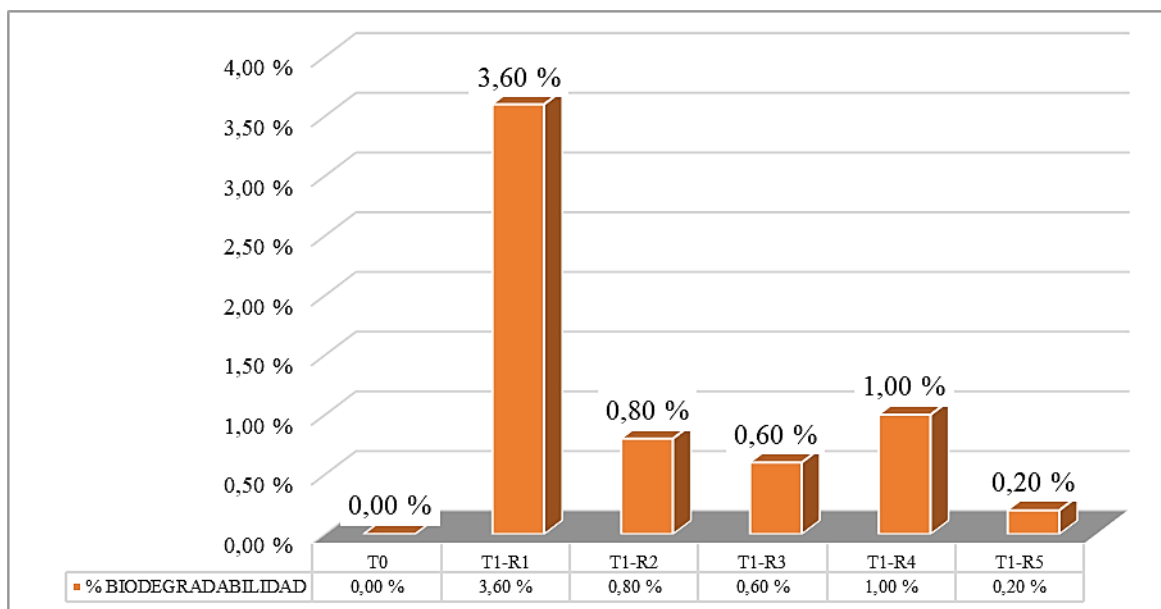
Descripción	Tratamiento	Repetición	Codificación	Biodegradabilidad (%)
5 g de LDPE sin larvas				
de <i>G. mellonella</i>	0	0	T0	0,00 %
(control)	1	1	T1-R1	3,60 %
	1	2	T1-R2	0,80 %

Larvas de <i>G.</i>	1	3	T1-R3	0,60 %
<i>mellonella</i> (10) + 5 g	1	4	T1-R4	1,00 %
de LDPE	1	5	T1-R5	0,20 %

Nota. Elaboración propia.

Figura 22

Porcentaje de biodegradación en repeticiones de T1



Nota. Elaboración propia.

- **Porcentaje de biodegradación de LDPE por acción de *Galleria mellonella* en repeticiones del T2**

En el tratamiento 2 se obtuvo mayor porcentaje de biodegradación en la repetición 1 (4,60 %) y el menor en la repetición 4 (0,80 %) en 5 g de LDPE post biodegradación (Tabla 13 y Figura 23).

Tabla 13

Porcentaje de biodegradación en repeticiones de T2

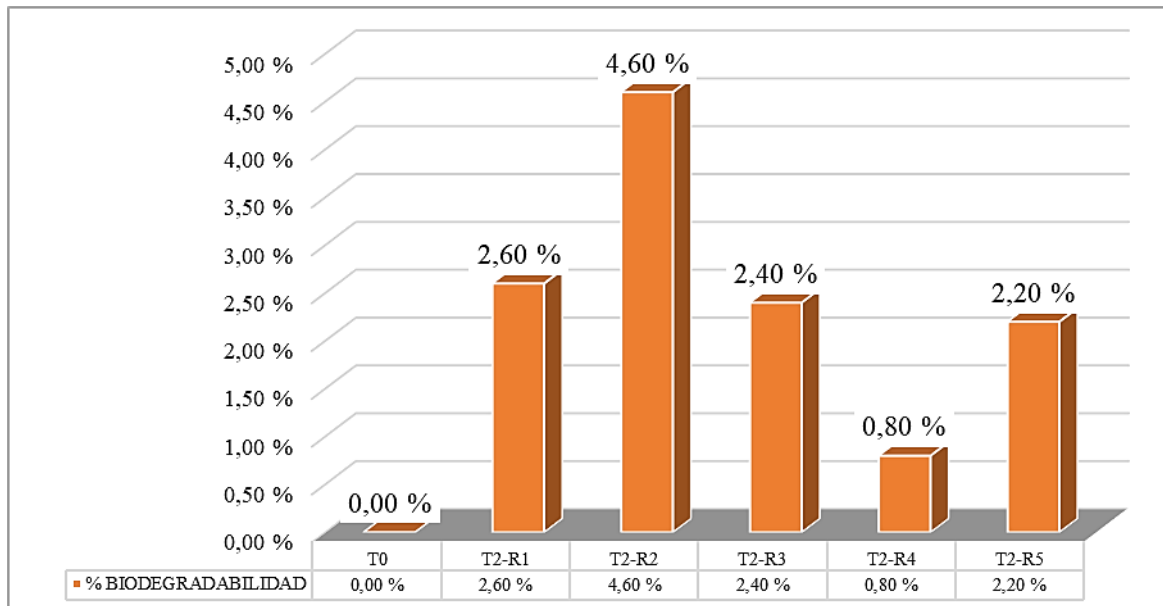
Descripción	Tratamiento	Repetición	Codificación	Biodegradabilidad (%)
5 g de LDPE sin larvas de <i>G. mellonella</i> (control)	0	0	T0	0,00 %
	2	1	T2-R1	2,60 %

Larvas de <i>G. mellonella</i> (15) + 5 g de LDPE	2	2	T2-R2	4,60 %
	2	3	T2-R3	2,40 %
	2	4	T2-R4	0,80 %
	2	5	T2-R5	2,20 %

Nota. Elaboración propia.

Figura 23

Porcentaje de biodegradación en repeticiones T2



Nota. Elaboración propia.

- **Porcentaje de biodegradación de LDPE por acción de *Galleria mellonella* en repeticiones del T3**

En el tratamiento 3 se obtuvo mayor porcentaje de biodegradación en la repetición 1 (8,00 %) y el menor en las repeticiones 4 y 2 (4,2 %) en 5 g de LDPE post biodegradación (Tabla 14 y Figura 24).

Tabla 14

Porcentaje de biodegradación en repeticiones de T3

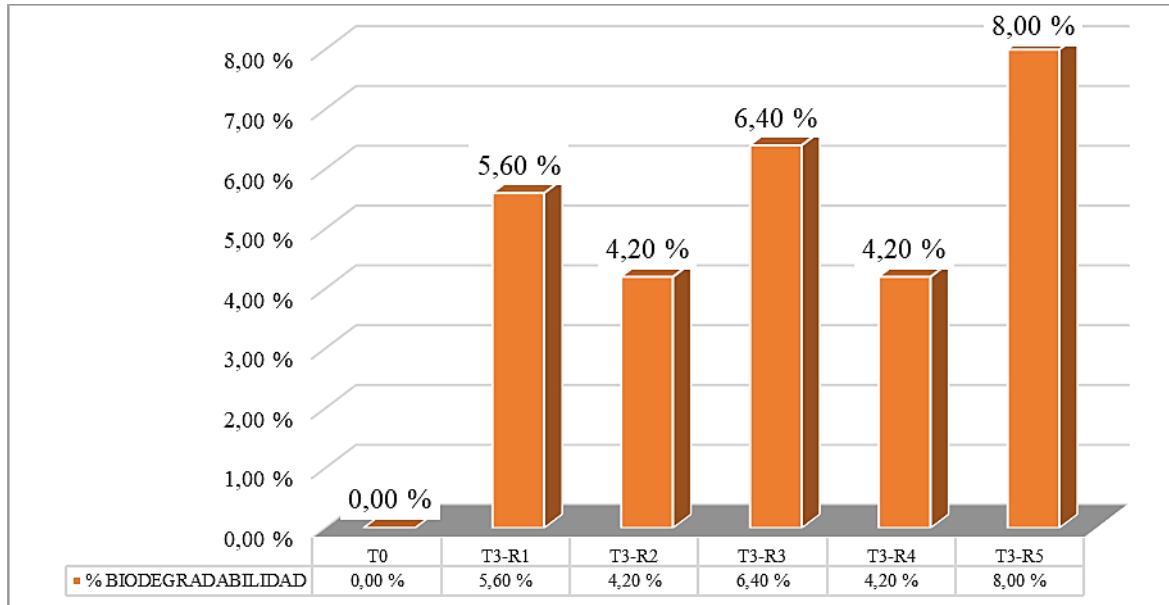
Descripción	Tratamiento	Repetición	Codificación	Biodegradabilidad (%)
5 g de LDPE sin larvas de <i>G. mellonella</i> (control)	0	0	T0	0,00 %
	3	1	T3-R1	5,60 %

	3	2	T3-R2	4,20 %
Larvas de <i>G. mellonella</i>	3	3	T3-R3	6,40 %
(20) + 5 g de LDPE	3	4	T3-R4	4,20 %
	3	5	T3-R5	8,00 %

Nota. Elaboración propia.

Figura 24

Porcentaje de biodegradación en repeticiones de T3



Nota. Elaboración propia.

- **Porcentaje promedio de biodegradación de LDPE por acción de *Galleria mellonella* en T1-T2- T3**

Como resultado se obtuvieron porcentajes promedio de 1,24 % para el tratamiento 1 (T1), 2,52 % para el tratamiento 2 (T2) y 5,68 % para el tratamiento 3 (T3). De esta manera se evidencia que el T3 logra mejores resultados frente a T2 y T1, denotado como T3> T2> T1 (Tabla 15 y Figura 25).

Tabla 15

Porcentaje promedio de biodegradación de T1-T2-T3

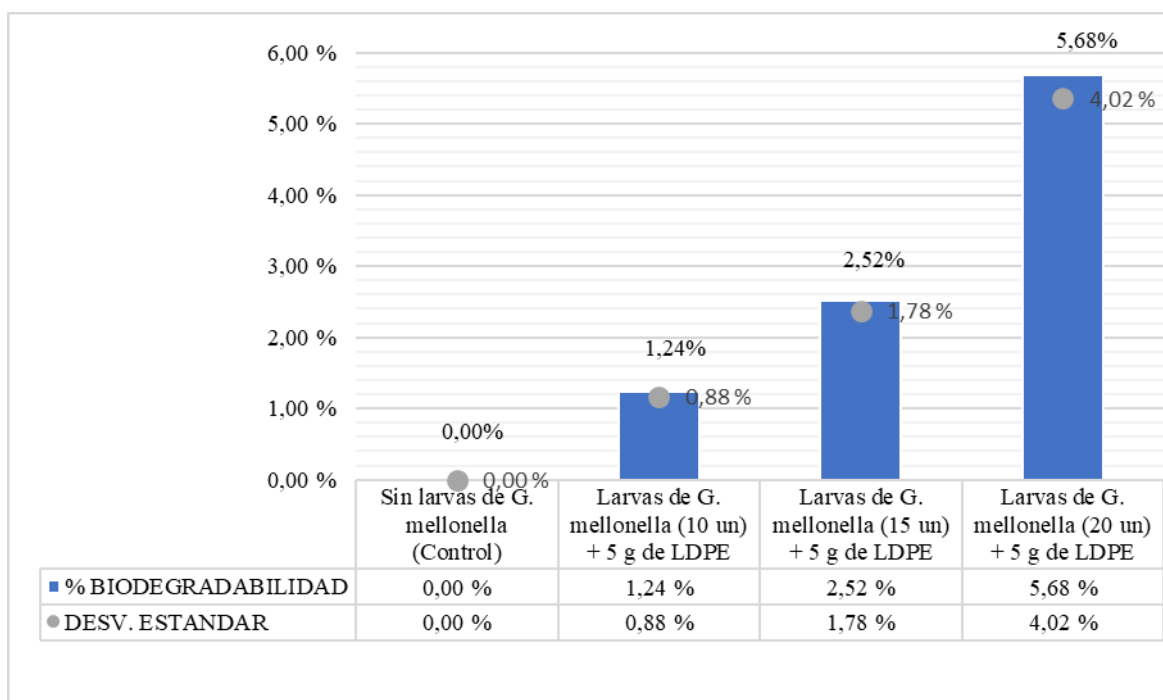
Descripción	% Biodegradabilidad	Desv. Estándar
5 g de LDPE sin larvas de <i>G. mellonella</i> (control)	0,00 %	0,00 %

Larvas de <i>G. mellonella</i> (10) + 5 g de LDPE	1,24 %	0,88 %
Larvas de <i>G. mellonella</i> (15) + 5 g de LDPE	2,52 %	1,78 %
Larvas de <i>G. mellonella</i> (20) + 5 g de LDPE	5,68 %	4,02 %

Nota. Elaboración propia.

Figura 25

Porcentaje promedio de biodegradación de T1-T2-T3



Nota. Elaboración propia.

- **Estadísticos descriptivos**

En la Tabla 16 se presenta estadísticos descriptivos de los tratamientos, para cada tratamiento se ha realizado $n = 5$ repeticiones. De las tres cantidades de larvas con las que se ha experimentado, se tiene que en el grupo de larvas de *G. mellonella* (10) + 5 g de LDPE (T1) la masa promedio final es 4,94 g ($SD^* = 0,0676$), también se tiene que la masa final mínima y máxima fue 4,82 y 4,99, respectivamente. En el grupo de larvas de *G. mellonella* (15) + 5 g de LDPE (T2) la masa promedio final es 4,87 g ($SD = 0,0680$), también se tiene que la masa final mínimo y máximo es 4,77 y 4,96, respectivamente. Finalmente, en el grupo de larvas de *G. mellonella* (20) + 5 g de LDPE la masa promedio final es 4,72 g ($SD = 0,0802$); también se tiene que la masa final mínima y máxima es 4,60 y 4,79, respectivamente. En

promedio, el T3 es más efectivo para la degradación de plástico, frente a T1 y T2. En lo que respecta a la mediana, el T3 también es menor (4,79 g) que en los tratamientos T1 y T2.

Tabla 16

Estadísticos descriptivos para la masa (g) final, según cantidad de larvas

Tratamiento	Repeticiones	Mean	SD	Mín.	Q1	Mediana	Q3	Máx.
T1	5	4,94	0,0676	4,82	4,95	4,96	4,97	4,99
T2	5	4,87	0,0680	4,77	4,87	4,88	4,89	4,96
T3	5	4,72	0,0802	4,60	4,68	4,72	4,79	4,79

Nota. n, sd, Q1, Q3 representan a cantidad de repeticiones por tratamiento, desviación estándar, cuartil 1 y cuartil 3, respectivamente. T1= Larvas de *G. mellonella* (10) + 5 g de LDPE, T2= Larvas de *G. mellonella* (15) + 5 g de LDPE, T3= Larvas de *G. mellonella* (20) + 5 g de LDPE.

- **Prueba de análisis de varianza (ANOVA)**

Según la prueba de Kruskal y Wallis (Tabla 17) se obtuvo como resultado que existe un efecto significativo ($p < 0,05$) en al menos una de las tres cantidades de larvas utilizadas en la investigación. También se aprecia que dicho efecto es del 68 % [21 %, 80 %].

Tabla 17

Resultados de análisis de varianza (ANOVA) vs estadística descriptiva

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	p	parcial η^2	parcial η^2 95% CI [LL, UL]
Tratamiento	0,13	2	0,06	12,53	0,001	0,68	[0,21, 0,80]
Error	0,06	12	0,00				

Nota. LL y UL representan el límite inferior y límite superior del intervalo de confianza del tamaño de efecto (η^2) de los tratamientos.

Asimismo, de la evaluación de hipótesis.

H_0 : La masa (g) de LDPE final promedio es igual para cada una de las tres diferentes cantidades larvas utilizadas (tratamientos) a 48 horas de exposición.

H_a : La masa (g) final promedio es diferente en al menos una de las tres diferentes cantidades larvas utilizadas (tratamientos) a 48 horas de exposición.

Se llega a la conclusión de que existe diferencias significativas ($p < 0,05$) en la masa (g) final promedio de al menos una de las tres diferentes cantidades larvas utilizadas (tratamientos).

- **Comparaciones múltiples de Tukey**

En el análisis de comparaciones múltiples (Tabla 18) para las diferentes cantidades de larvas sobre la masa de LDPE biodegradado se ha obtenido que existe diferencia significativa ($p < 0,05$) entre T3-T1 y T3-T2; en consecuencia, se concluye que el T3 correspondiente al grupo de larvas de *Galleria mellonella* (20) + 5 g de LDPE es mejor ($p < 0,05$) frente a T1 y T2; sin embargo, no sucede lo mismo ($p > 0,05$) con T2 y T1.

Tabla 18

Análisis de estadística descriptiva - comparaciones múltiples

Tratamiento	Diferencia	Límite inferior de la diferencia	Límite superior de la diferencia	p-value de la diferencia
T2-T1	-0,064	-0,1857902	0,05779024	0,3706568
T3-T1	-0,222	-0,3437902	-0,10020976	0,0010479
T3-T2	-0,158	-0,2797902	-0,03620976	0,0121153

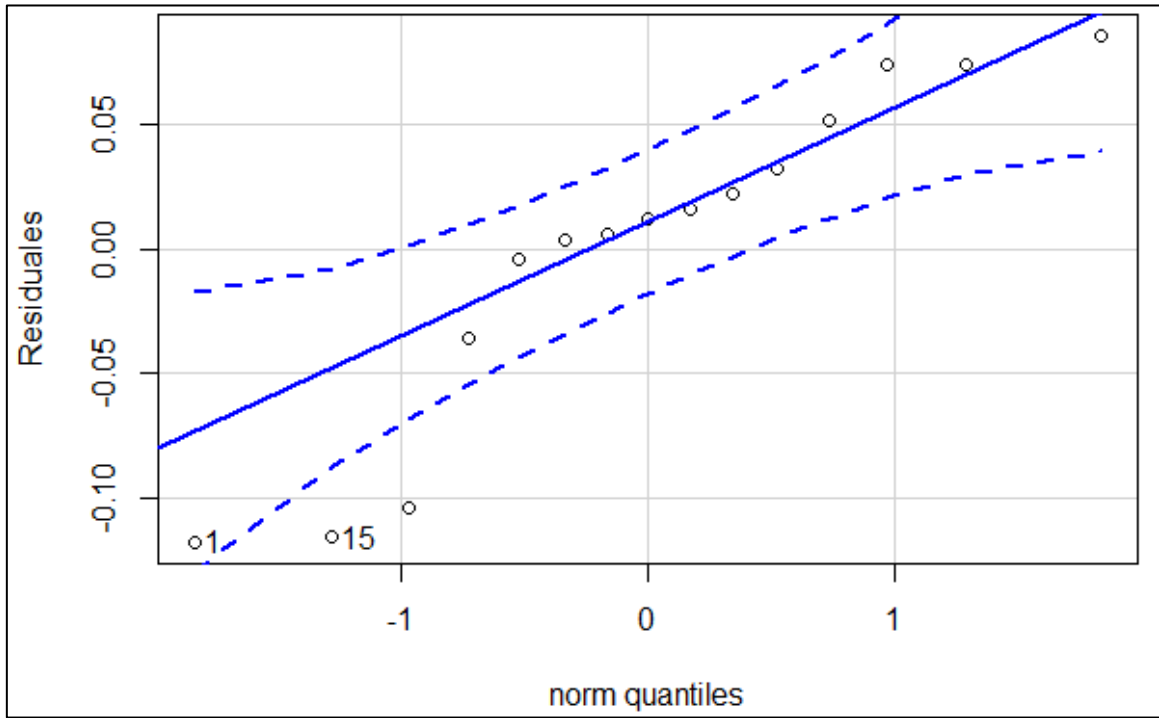
Nota. Elaboración propia.

- **Prueba de Shapiro-Wilk**

Evaluando a los cuartiles teóricos de la distribución normal estándar (Figura 26) se aprecia que se cumple el supuesto de normalidad ($p > 0,05$) a pesar de que 2 de los 15 residuos están fuera de los límites de confianza (95 %) de la distribución de los residuos (Y) del ANOVA, con respecto a los valores normales estandarizados (X).

Figura 26

Cuartiles teóricos de la distribución estándar



Nota. Elaboración propia.

- **Prueba de Bartlett**

A través del análisis de igualdad de varianzas (homocedasticidad) (Tabla 19) de la masa final en cada uno de los tres tratamientos, se determinó que estas fueron iguales ($p > 0,05$) en cada uno de los grupos.

Tabla 19

Prueba de Bartlett de homogeneidad de varianzas

Prueba de Bartlett de homogeneidad de varianzas

datos: Peso aov\$ residuos por Tratamiento

K-cuadrado de Bartlett= 0,1393, grados de libertad = 2, valor de p = 0,9327

Nota. Análisis de laboratorio.

CAPÍTULO IV: DISCUSIONES

4.1. Porcentaje de eclosión de huevos y supervivencia de larvas del gusano de la cera antes de ser sometidos a experimento en laboratorio

Se registró 61 % de eclosión de los huevos de un total de 1 800, durante periodo de tiempo de tres días a temperatura promedio que osciló entre 16 y 28 °C. Realpe *et al.* (2007) por su parte obtuvo resultados de 80,3 % de eclosión considerando que trabajó en un lapso de 10 días y a 25 °C bajo condiciones controladas de laboratorio.

Fue realizado el aislamiento y selección de polillas adultas con el objetivo de obtener larvas de *Galleria mellonella* aptas y en buenas condiciones, los cuales fueron utilizados en el proceso de biodegradación. En tal sentido, Salas (2015) afirma que la nutrición juega un papel muy importante en el desarrollo y porcentaje de mortalidad de las larvas, donde una dieta deficiente en la etapa larvaria puede significar la asignación de recursos a la función inmunológica, en lugar del crecimiento; quien usó , combinaciones de: trigo molido, azúcar metilparabeno, agua, glicerina, cera y miel de abejas, leche pasteurizada, bagacillo, diastasa, harina de maíz, harina de soya, salvado de maíz; germen, harina y sémola de trigo; viruta de madera y alimento para perro. Asimismo, en esta investigación se consideró como dieta artificial al salvado de maíz, miel y cera, ya que las larvas no se tuvo pérdidas hasta antes de someterlo a experimento logrando buenos resultados.

4.2. Determinación de variación de masas de LDPE por acción de larvas de *Galleria mellonella* por tratamiento a 48 horas de exposición

Las variaciones de masas obtenidas en los tres tratamientos fueron de 0,06 g para T1, 0,13 g para T2 y 0,28 g para T3 sometidas a 48 horas de exposición. Estos resultados concuerdan con Espejo (2019) quien obtuvo valores de 0,003 g para M2, 0,019 g para M3 y 0,01 g para

M4 en 12 horas de exposición. Asimismo, Calizaya (2019) obtuvo valores de 0,91 g para T1 y 0,89 g para T2 a 168 horas de exposición.

Los resultados obtenidos demuestran que, en todas las investigaciones presentadas, si existe una degradación del polietileno de baja densidad por parte de la larva *Gallería mellonella*; aunque es preciso mencionar que esta degradación de las películas de LDPE están dadas en porcentajes bajos, lo cual se debe a que están realizadas en periodos muy cortos y condiciones ambientales variables donde se realizaron las investigaciones. Sin embargo, se evidenció que las larvas no se alimentan solo de LDPE sino que también de la dieta artificial, corroborado con Billen, *et al* (2020).

4.3. Determinación de variación de masas de LDPE por acción de larvas de *Galleria mellonella* por tratamiento a 48 horas de exposición

Las evaluaciones realizadas en la presente investigación, se obtuvieron los siguientes resultados en cuanto a porcentaje promedio de biodegradabilidad por cada tratamiento: T1= 1,24 %, T2= 2,52 %, T3= 5,68 % y finalmente para el T0 (testigo)= 0 % a 48 horas de exposición y a temperatura promedio de 25 °C. Resultados similares en el porcentaje de biodegradación fue reportado por Calizaya (2019), quien en su investigación utilizando bolsas de polietileno más 20 larvas (*Galleria mellonella*), en un tiempo de exposición de 168 horas a una temperatura de 24 a 27 °C, obtuvo los siguientes valores de biodegradación en función a las masas iniciales y finales: para el tratamiento 1 (T1) el resultado fue de 7,71 % y para el tratamiento 2 (T2) el resultado fue de 5,11 %; haciendo énfasis de que esta investigación tuvo mayor tiempo de exposición. Asimismo, Velasco (2017) obtuvo valores de hasta 3,57 % de biodegradación, en un periodo de 12 horas, utilizando bolsas plásticas (polietileno de baja densidad), con 10 unidades de larvas (*Gallería mellonella*), siendo el mayor porcentaje de biodegradabilidad por unidad de tiempo (hora); esto debido a que la temperatura fue regulada y calibrada a 25 °C mediante invernaderos, permaneciendo estable durante el proceso de biodegradación. Billen *et al.* (2020) por su parte, obtuvieron un 4,2 % a 17 horas y 8,5 % de biodegradación de polietileno de baja densidad, en un periodo de tiempo de 89 horas, utilizando 10 larvas de polilla de cera (*Gallería mellonella*), a una temperatura de 30 °C. De la misma forma, Bombelli *et al.* (2017) fueron los pioneros en

investigar este tipo de biodegradación, quienes hicieron un homogenizado de las larvas que expusieron en contacto con el polietileno, confirmaron una pérdida de masa de hasta 13 % en 14 horas de exposición. En tal sentido se analiza que a mayor tiempo y variaciones de temperatura las larvas no necesariamente degradan más LDPE.

Una de las condiciones que resultan ser determinantes para la degradación del polietileno de baja densidad, es tener en cuenta el tamaño ideal del lepidóptero; es decir, se deben elegir individuos de 22 mm a 27 mm, debido a que es en este tamaño donde las larvas presentan mejores condiciones de degradación, su mordedura es mucho más fuerte, posee mandíbulas más grandes, produce seda muy rápidamente y son capaces de consumir y degradar estos compuestos (Jiménez, 2019). Para la presente investigación se seleccionaron larvas con un tamaño que osciló entre 20 a 30 mm, los cuales fueron utilizados en las evaluaciones, con la finalidad de obtener mejores resultados. Asimismo, Espejo (2019) menciona que la temperatura a la cual deben estar expuestas las larvas de *Gallería mellonella*, también juega un rol importante dentro del proceso de degradación del polietileno de baja densidad, ya que, para obtener mejores resultados, los individuos deben estar expuestos a 25 °C, debido a que, a esta temperatura, esta especie puede adaptarse tranquilamente, puede masticar, comer y penetrar diversos materiales plásticos y mostrar un mejor rendimiento. Además, se evidencia que en cierta manera las larvas presentan una ligera preferencia por dietas artificiales antes que, por el polímero, dado que este no es un alimento habitual; por lo tanto, necesitan de otras fuentes de alimento.

- **Prueba de análisis de varianza**

En el análisis de varianza (ANOVA), el valor de “p” representa la fiabilidad del estudio y la importancia de los resultados, cuanto menor es el valor obtenido existe mayor improbabilidad de que los datos analizados arrojen diferencias notables; además, indica (valor de “p”) que existe mayor probabilidad de lograr valores muy similares replicándolos en las mismas condiciones (Molina, 2017). Bajo esta premisa y según los resultados obtenidos en la presente investigación, estadísticamente existe un efecto significativo en al menos una de las tres masas finales post biodegradación, dado que el valor de “p” es menor a 0,05 ($p=0,001$). Asimismo, Jiménez (2019) coincide con estos resultados, dado que obtuvo valores de $p < 0,001$ en cuanto a la biodegradación de otro tipo de polímero-poliestireno

expandido, utilizando larvas de la especie *Gallería mellonella*; entendiéndose que los datos evaluados presentan rigurosidad y fiabilidad; en tal sentido la biodegradación por *Gallería mellonella* es mayor en el polietileno que en el poliestireno. Por otro lado, el análisis ANOVA de Márquez (2019), alcanzó un valor de $p= 0,00265$; indicando de esta manera que luego de siete días de exposición a las larvas de *Gallería mellonella*, existen diferencias significativas en las cantidades degradadas de polietileno, poliuretano, cera + levadura, cera + polietileno y cera + poliuretano; indicando que estos resultados representan valores de confianza, similares a los de esta investigación.

- **Comparaciones múltiples de Tukey**

La significancia obtenida en los resultados de las evaluaciones puede estar reflejada con la actividad de degradación de las larvas de *Gallería mellonella* sobre el polietileno de baja densidad (LDPE); es decir, esta especie es capaz de degradar el plástico, rompiendo los enlaces químicos que lo componen, logrando una biotransformación del polietileno, a través de sus glándulas salivales y a la presencia de bacterias simbióticas en su intestino, para luego transformarlo en etileno-glicol, un producto fácilmente degradable según Jiménez (2019). Además, otros factores como el tamaño de la larva, la temperatura a la que está expuesta, el número de individuos y el tiempo de exposición, deben ser tomados en cuenta para determinar la efectividad en la degradación del polietileno (Velasco, 2017).

Asimismo, se evaluó a los cuartiles teóricos para determinar si se cumple con el supuesto de normalidad. Según Melo *et al.* (2020), esta prueba se realiza para saber si la muestra sometida a análisis proviene de una distribución normal. En ese sentido, el análisis de los residuos del ANOVA (supuesto de normalidad) con respecto a los valores normales estandarizados, la presente investigación realizada cumple con la distribución normal, dado que se ha conseguido un valor de “p” mayor a 0,05 ($p= 0,0634$). Similar resultado obtuvo Calizaya (2019) en lo que respecta a la biodegradación de polietileno, ya que el valor de “p” fue mayor de 0,05 por lo que se concluye que el análisis proviene de una distribución normal. Espejo (2019) encontró valores de “p” superiores a 0,05 ($p= 0,183$ y $p= 0,516$), demostrando de esta manera que los datos obtenidos siguen una distribución normal, a fin de contrastar las hipótesis.

Finalmente, el uso de las larvas de cera *Gallería mellonella* para la degradación de los plásticos de polietileno, resultan tener una gran importancia desde el punto de vista tecnoeconómico, teniendo en cuenta si este método es utilizado en gran escala, ya que, a mayor número de individuos presentes, mayor será el porcentaje de biodegradación del polietileno. Predominantemente, estas larvas que necesitan energía para sus condiciones habituales convierten los plásticos en CO₂ y a restos similares al glicol; además, debido a los mecanismos de degradación exactos que poseen, estos individuos (*Gallería mellonella*) podrían ser utilizados potencialmente en el desarrollo de nuevos métodos ecológicos para la mitigación avanzada de los plásticos, presentes en los desechos de alimentos durante el compostaje o la digestión (Billen *et al.*, 2020).

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES

1. De acuerdo con los resultados de la investigación se llega a la conclusión que la cantidad óptima para degradar el polietileno de baja densidad en condiciones de laboratorio es de 20 unidades en 5 g de LDPE el cual corresponde al tercer tratamiento (T3), asimismo se ha determinado que cada larva tiene una capacidad de consumo de 0,014 g del polímero en un lapso de 48 horas.
2. De las 32 polillas que se usaron en la investigación, se obtuvieron 1 800 huevos de los cuales eclosionaron 1100 (61 %) de estas solo 525 larvas fueron seleccionadas, las mismas que cumplían con tamaño entre 20 a 30 mm, de las cuales solo se usaron 225 para el desarrollo de la investigación.
3. La variación de masas promedio de LDPE para las repeticiones de cada tratamiento fue de 0,06 g para el tratamiento T1, 0,13 g para el tratamiento T2 y 0,28 g para el tratamiento T3. Según lo evaluado a través de estadística descriptiva e inferencial se concluye que el tratamiento T3 que contenía 20 unidades de *Galleria mellonella* en 5 g de LDPE expuestos durante 48 horas es la que presentó una mayor degradación significativa. De igual manera se observa en el porcentaje de biodegradabilidad alcanzado por el tratamiento T1 (Larvas de *G. mellonella* (10) + 5 g de LDPE) fue de 1,24 %, siendo el menor en la repetición T1R5 de 0,20 % y el mayor valor en el T1R1 de 3,60 %; en el tratamiento T2 (Larvas de *G. mellonella* (15) + 5 g de LDPE) fue de 2,52 %, siendo el menor en la repetición T2R4 de 0,80 % y el mayor valor en el T2R2 de 4,60 % y finalmente en el tratamiento T3 (Larvas de *G. mellonella* (20) + 5 g de LDPE) fue de 5,68 %, siendo el menor en la repetición T3R2 y T3R4 de 4,20 % y el mayor valor en el T3R5 de 8,00 %.

4. Según el análisis de varianza existen diferencias significativas ($p = 0,001 < 0,05$) en la masa (g) final promedio de al menos una de las tres diferentes cantidades larvas utilizadas por tratamiento; en esa misma línea, con la prueba de Tukey se concluye que existe diferencia significativa ($p < 0,05$) entre T3-T1 ($p = -0,100$) y T3-T2 ($p = -0,0362$); en consecuencia, el T3 correspondiente al grupo de larvas de *G. mellonella* (20) + 5 g de LDPE es mejor ($p < 0,05$) frente a T1 y T2; sin embargo, no sucede lo mismo ($p > 0,05$) con T2 y T1 que no presentan diferencias estadísticamente significativas.

CAPÍTULO VI: RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar análisis de la composición química de la larva a nivel de laboratorio para determinar si la capacidad biodegradadora es producto de alguna enzima en específico o para descartar de que esta acción sea solo un instinto de supervivencia. En caso de ser una enzima el agente causante de la biodegradación, se recomienda aislarlo y reproducir a escala industrial para contribuir con esta problemática.
- Someter a análisis de laboratorio los residuos secretados por las larvas *Galleria mellonella*, para detectar el porcentaje de LDPE y/o trazas derivadas.
- Realizar la misma investigación con diferentes fuentes y dosis de sustrato.
- Realizar el pesaje pre y post biodegradación de las larvas de *Galleria mellonella* para determinar si esta fuente de alimento contribuye a su desarrollo en su ciclo biológico.
- Realizar investigación para evaluar si también actúan como biodegradadores en residuos de LDPE usados en labores domésticas, es decir que estén impregnados con otras sustancias.

REFERENCIAS

- Ahmad, T., Sarwar, Z., Ijaz, M., Sajjad, M. y Binyameen, M. (2017). Biodiversity and faunistic studies of the family Pyralidae (Lepidoptera) from Pothwar region, Punjab, Pakistan [Estudios de biodiversidad y faunística de la familia Pyralidae (Lepidoptera) de la región de Pothwar, Punjab, Pakistán]. *Pakistan Journal of Life and Social Sciences*, 15(2), 126-132. http://www.pjlss.edu.pk/pdf_files/2017_2/126-132.pdf
- American Chemical Society (1999). Discovery of polypropylene and the development of a new high-density polyethylene [Descubrimiento del polipropileno y desarrollo de un nuevo polietileno de alta densidad]. *American Chemical Society*. <https://www.acs.org/content/dam/acsorg/education/whatischemistry/landmarks/polyp/ropylene/discovery-of-polypropylene-and-development-of-high-density-polyethylene-commemorative-booklet.pdf>
- Ararat, C. y Murillo, E. (2016). Polietileno de baja densidad funcionalizado con un poliéster polioliol altamente ramificado maleinizado. *Ingeniería y ciencia*, 12(23), 127-144. <http://www.scielo.org.co/pdf/ince/v12n23/v12n23a08.pdf>.
- Archna, A., Moses, V., Sagar, S., Shivraj, V. y Chetan, S. (2015). A Review on Processing of Waste PET (Polyethylene Terephthalate) Plastics [Una revisión sobre el procesamiento de residuos de plásticos PET (tereftalato de polietileno)]. *International Journal of Polymer Science y Engineering*, 1(2), 1-13. https://www.researchgate.net/publication/305638712_A_Review_on_Processing_of_Waste_PET_Polyethylene_Terephthalate_Plastics
- Asalde, C. (2018). *Regulación de bolsas plásticas de un solo uso en el Perú* [Tesis de grado, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio PUCP. https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/13684/ASALDE_ALVAREZ_REGULACION_DE_BOLSAS_PLASTICAS_DE_UN_SOLO_USO_EN_EL_PERU.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Austin, H., Allen, M., Donohoe, B., Rorrer, N., Kearns, F., Silveira, R., Pollard, B., Dominick, G., Duman, R., El Omari, K., Mykhaylyk, V., Wagner, A., Michener, W., Amore, A., Skaf, M., Crowley, M., Thorne, A., Johnson, C., Woodcock, H., McGeehan, J. y Beckham, G. (2018). Characterization and engineering of a plastic-degrading aromatic polyesterase [Caracterización e ingeniería de una poliesterasa aromática que degrada plásticos]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115(19), E4350-E4357. <https://doi.org/10.1073/pnas.1718804115>

- Billen P., Tavernier S., Van Gerven, F., Spatari S. y Khalifa L. (2020) Technological application potential of polyethylene and polystyrene biodegradation by macroorganisms such as mealworms and wax moth larvae [Potencial de aplicación tecnológica de la biodegradación de polietileno y poliestireno por macroorganismos como gusanos de la harina y larvas de polilla de la cera]. *Science of the Total Environment*, 735(139521), 1-16. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139521>
- Bombelli, P., Howe, C. y Bertocchini, F. (2017). Polyethylene biodegradation by caterpillars of the wax moth *Galleria mellonella* [Biodegradación de polietileno por orugas de la polilla de la cera *Galleria mellonella*]. *Current Biology*, 27(8), R292–R293. doi:10.1016/j.cub.2017.02.060.
- Boucher, J., y Billard, G. (2019). The challenges of measuring plastic pollution [Los desafíos de medir la contaminación plástica]. *Field Actions Science Reports. The Journal of Field Actions*, 19(1), 68-75. <https://www.institut.veolia.org/sites/g/files/dvc2551/files/document/2019/03/68%20The%20challenges%20of%20measuring%20plastic%20pollution,%20Guillaume%20Billard,%20Julien%20Boucher.pdf>
- Bustamante, B. (1994). La degradación de los plásticos. *Revista Universidad EAFIT*, 30(94), 67-86. <https://publicaciones.eafit.edu.co/index.php/revista-universidad-eafit/article/view/1408/1280>
- Calizaya, C. (2019). *Evaluación del polietileno como alimento de la Galleria mellonella como alternativa en la biodegradación* [Tesis de grado, Universidad privada de Tacna]. Repositorio UPT. <https://repositorio.upt.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12969/1264/Calizaya-Silva-Claudia.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ccallo, M., Sacaca, F., Callata, R., Vigo, J. y Calla, J. (2020). Biodegradación de polímeros de plástico por *Pseudomonas*. *Revista de Investigación Ciencia, Tecnología y Desarrollo*, 6(2), 46-59. https://revistas.upeu.edu.pe/index.php/ri_ctd/article/view/1457
- Chia, F. (1974). Classification and adaptative significance of developmental patterns in marine invertebrates [Clasificación y significado adaptativo de los patrones de desarrollo en invertebrados marinos]. *Thalassia Jugoslavica*, 10, 121- 130.
- Coicué, L. y Sepúlveda, C. (2017). *Polietileno de baja densidad como alternativa para mejorar las propiedades mecánicas de una mezcla asfáltica densa en caliente MDC-19* [Tesis de grado, Universidad Católica de Colombia]. Repositorio UCC. <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/15277/1/POLIETILENO%20DE%20BAJA%20DENSIDAD%20COMO%20ALTERNATIVA%20PARA%20MEJO>

RAR%20LAS%20PROPIEDADES%20MECANICAS%20DE%20UNA%20MEZCLA%20DENSA%20EN%20CALIENTE%20MDC-19.pdf

Decreto Supremo N°013-2018-MINAM [Ministerio del Ambiente]. Aprueban la reducción del plástico de un solo uso y promueven el consumo responsable del plástico en las entidades del Poder Ejecutivo. 5 de noviembre de 2018. https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/219245/ds_013-2018-MINAM.pdf?v=1595208112

Deras, G. (2018). *Efecto del consumo del polietileno de baja densidad en el desarrollo de la polilla de la cera (Galleria mellonella, Lepidóptera: Pyralidae)* [Tesis de grado, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano]. Repositorio Zamorano. <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/6367/1/IAD-2018-T011.pdf>

Deutsche Welle. (2017). *Residuos plásticos y su impacto ambiental*. Deutsche Welle (DW). <https://www.dw.com/downloads/42980566/180306-dw-global-ideas-cuaderno-1-download.pdf>

Ellis, J., Graham, J. y Mortensen, A. (2013). Standard methods for wax moth research [Métodos estándar para la investigación de la polilla de cera]. *Journal of Apicultural Research*, 52(1), 1-17. DOI: 10.3896/IBRA.1.52.1.10

Espejo, C. (2019). *Eficiencia de la biodegradación de residuos polietileno y poliestireno expandido por acción de la oruga Galleria Mellonella, Lima – 2019*, [Tesis de grado, Universidad César Vallejo] Repositorio UCV. https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/51015/Espejo_MCP-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Espinoza, J. (2018). *Eficiencia de las larvas Tenebrio Molitor y Galleria Mellonella para la biodegradación de microplásticos de la playa Costa Azul, Ventanilla, Callao, 2018*, [Tesis de grado, Universidad Cesar Vallejo]. Repositorio UCV. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/49181>

Ferrán, M. (2001). *SPSS Análisis estadístico para Windows*. Ed. McGraw-Hill.

Frías, C., Ize, A., Gavilán, I., y Arturo (2003). La situación de los envases de plástico en México. *Gaceta Ecológica*, (69), 67-82. <https://www.redalyc.org/pdf/539/53906905.pdf>

García, E., Romo, H., Sarto, V., Munguira, M., Baixeras, J., Vives, A. y Yela, J. (2015). Clase Insecta Orden Lepidoptera. *Ibero Diversidad Entomológica @ccesible*, 1(65),

1–21. https://www.researchgate.net/profile/Enrique-Garcia-Barros/publication/281410691_Orden_Lepidoptera/links/55e607ce08aebdc0f58bad56/Orden-Lepidoptera.pdf

García, G., y Fernández, F. (2011). La diversidad de insectos (*Arthropoda: hexapoda*) en Colombia: I Entognatha a polyneoptera. *Acta Biológica Colombiana*, 16(2),205-220. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=319028008016>

Guzmán, A. (2018). Actualidad. Las leyes en el Perú que se rigen sobre los plásticos. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 84(3), 275-277. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2018000300001&lng=es&tlng=es.

Hammer, J., Kraak, M. y Parsons, J. (2012). Plastics in the marine environment: The dark side of a modern gift [Plásticos en el medio marino: El lado oscuro de un regalo moderno]. *Reviews of environmental contamination and toxicology*, 1-44. DOI 10.1007/978-1-4614-3414-6_1

Hernández, R., Fernández, C., y Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6ta edición), McGraw-Hill Interamericana. <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>

Instituto Nacional de Calidad (2018). *Envases y accesorios plásticos en contacto con alimentos. Parte 1: Disposiciones generales y requisitos* (NTP 399.163-1:2017/CT 1:2018).

Jiménez, C. (2019). *Biodegradación del poliestireno expandido por larvas de Galleria mellonella linnaeus (lepidoptera: pyralidae) en condiciones de laboratorio* [Tesis de grado, Universidad Nacional Abierta y a Distancia]. Repositorio UNAD. <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/37360/35421381.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Kumar, G. y Khan, M. (2018). Study of the life cycle of greater wax moth (*Galleria mellonella*) under storage conditions in relation to different weather conditions [Estudio del ciclo de vida de la polilla de la cera mayor (*Galleria mellonella*) en condiciones de almacenamiento en relación con diferentes condiciones climáticas]. *Journal of entomology and zoology studies*, 6(3), 444-447. -ISSN: 2320-7078. <https://www.entomoljournal.com/archives/2018/vol6issue3/PartG/6-2-76-351.pdf>

Kwadha, C., Ong'amo, G., Ndegwa, P., Raina, S., y Fombong, A. (2017). The Biology and Control of the Greater Wax Moth, *Galleria mellonella* [Biología y control de la polilla

de la cera mayor, *Galleria mellonella*]. *Insects*, 8(2), 61.
<https://doi.org/10.3390/insects8020061>

Lazzeri, M., Bar, M., y Pieri, M. (2011). Diversidad del orden Lepidoptera (Hesperioidea y Papilionoidea) de la ciudad Corrientes, Argentina. *Revista de Biología Tropical*, 59(1), 299-308. <https://www.scielo.sa.cr/pdf/rbt/v59n1/a26v59n1.pdf>

Ley N° 30884. Ley que regula el plástico de un solo uso y los recipientes o envases descartables (8 de diciembre de 2018).
<https://busquedas.elperuano.pe/normaslegales/ley-que-regula-el-plastico-de-un-solo-uso-y-los-recipientes-ley-n-30884-1724734-1/>

Llorente J. (2004). Las enfermedades y enemigos de las colmenas. *Las abejas y la apicultura*. Universidad de Oviedo. España, 105 – 117.

Márquez, A. (2019). *Viabilidad de la biodegradación de Polietileno y Poliuretano por la polilla de la cera (Galleria mellonella): Factores que afectan tasas de degradación y supervivencia* [Tesis de grado, Pontificia Universidad Javeriana]. Repositorio PUJ. <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/44251/TESIS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Márquez, J. (2005). Técnicas de colecta y preservación de insectos. *Boletín Sociedad Entomológica Aragonesa*, 37385-408. http://sea-entomologia.org/Publicaciones/PDF/BOLN_37/385_408_Tecnicas.pdf

Melo, O., López, L., y Melo, S. (2020). *Diseño de experimentos métodos y aplicaciones* (2° edición). Coordinación de publicaciones-Facultad de ciencias. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/79912/Dise%c3%b1o%20de%20Experimentos.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

Mendenhall, W., Beaver, R., y Beaver, B. (2009). *Introduction to probability and statistics* (13th ed). Brooks/Cole, Cengage Learning. ISBN-13: 978-0-495-38953-8. https://3lihandam69.files.wordpress.com/2015/10/william_mendenhall_robert_j-_beaver_barbara_m-_bookfi-org.pdf

Ministerio del Ambiente (MINAM). (2016). *Plan nacional de gestión integral de residuos sólidos*. <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/plan-nacional-gestion-integral-residuos-solidos-2016-2024>

Mohamed, M. y Coppel, H. (1983). Mass Rearing of the Greater Wax Moth, *Galleria Mellonella* (Lepidoptera: Pyralidae), for Small-Scale Laboratory Studies [Cría en

masa de la polilla de cera mayor, *Galleria Mellonella* (Lepidoptera: Pyralidae), para estudios de laboratorio a pequeña escala]. *The Great Lakes Entomologist*, 16(4), 139-141. <https://scholar.valpo.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1476&context=tle>

Molina, M. (2017). ¿Qué significa realmente el valor de p?. *Pediatría Atención Primaria*, 19(76), 377-381. <https://scielo.isciii.es/pdf/pap/v19n76/1139-7632-pap-21-76-00377.pdf>

Murillo, J. (2011). *Métodos de investigación de enfoque experimental*. Métodos de investigación en educación especial. <https://www.postgradoune.edu.pe/pdf/documentos-academicos/ciencias-de-la-educacion/10.pdf>

Núñez, C. (2018). Análisis de varianza no paramétrica: un punto de vista a favor para utilizarla. *Acta agrícola y pecuaria*, 4 (3), 69-80. <https://doi.org/10.30973/aap/2018.4.3/1>

Organización Internacional de Normalización. (2020). *Plásticos. Evaluación de la biodegradabilidad intrínseca de materiales expuestos a inóculos marinos en condiciones de laboratorio aeróbicas mesófilas. Métodos de ensayo y requisitos*. (ISO 22403: 2020). <https://www.iso.org/standard/73121.html>

Palella, S., y Martins, F. (2012). *Metodología de la Investigación Cuantitativa* (3ra edición). Fondo Editorial de la Universidad Pedagógica Experimental Libertador – FEDUPEL. ISBN: 980-273-445-4.

Realpe, A., Bustillo, P., y López, N. (2007). Optimización de la cría de *Galleria mellonella* (L.) para la producción de nematodos entomopatógenos parásitos de la broca del café. *Cenicafé*, 58(2), 142-157. <https://www.cenicafe.org/es/publications/arc058%2802%29142-157.pdf>

Ren, L., Men, L., Zhang, Z., Guan, F., Tian, J., Wang, B., Wang, J., Zhang, Y. y Zhang, W. (2019). Biodegradation of polyethylene by *Enterobacter* sp. D1 from the guts of wax moth *Galleria mellonella* [Biodegradación de polietileno por *Enterobacter* sp. D1 de las entrañas de la polilla de la cera *Galleria mellonella*]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(11), 1941. doi: 10.3390/ijerph16111941.

Restrepo, A., Arias, P., y Soto, A. (2019). Efecto de diferentes fuentes de miel en la cría de *Galleria mellonella* (Lepidoptera: Pyralidae) para la multiplicación de nematodos entomopatógenos. *Boletín Científico. Centro de Museos. Museo de Historia Natural*, 23(1), 73-81. <https://doi.org/10.17151/bccm.2019.23.1.4>

- Revilla, S. (2018). *Eficiencia del homogenizado proveniente del tracto digestivo de la Galleria mellonella en la biodegradación de dos tipos de polietileno de baja densidad, Lima– 2018* [Tesis de grado, Universidad César Vallejo]. Repositorio UCV. <http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/UCV/20217>
- Roca, I. (2005). *Estudio de las propiedades y aplicaciones industriales del polietileno de alta densidad (PEAD)* [Tesis de grado, Universidad de San Carlos de Guatemala]. Repositorio USAC. http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0639_Q.pdf
- Rodríguez, A. (2012). Biodegradabilidad de materiales bioplásticos. *Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 22(3), 69-72. https://www.researchgate.net/publication/328676031_Biodegradabilidad_de_materiales_bioplasticos
- Rodríguez, J., Arece, J., Olivares, J., y Roque, E. (2009). Origen y evolución de Arthropoda. *Revista de Salud Animal*, 31(3), 137-142. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0253-570X2009000300001&lng=es&tlng=es
- Rodríguez, L. (2015). *Ciclo biológico de Galleria mellonella Linnaeus (Lepidoptera: Pyralidae)* [Tesis de grado, Universidad Nacional Agraria La Molina]. Repositorio UNALM. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/2107/H10-R67-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ruíz, S. y López, I. (2013). Metodología del diseño experimental. *Métodos de investigación social y de la empresa*. pp. 485-502. Pirámide. <https://www.researchgate.net/publication/283351444>
- Salas, M. (2015). *Efecto de dietas artificiales en la crianza de Galleria mellonella L. (Lepidoptera: Pyralidae)* [Tesis de grado, Universidad Nacional de Trujillo]. Repositorio UNITRU. <https://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/4124/SALAS%20OTINIAN%20Marco.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Santos, M., Vitorino, J. y Marôco, J. (2013). Análisis estadístico de escalas ordinales. Aplicaciones en el Área de Salud infantil y Pediatría. *Enfermería Global*, 12(30), 434-445. <https://scielo.isciii.es/pdf/eg/v12n30/revision5.pdf>

- Sarria, R. y Gallo, A. (2016). La gran problemática ambiental de los residuos plásticos: Microplásticos. *Journal de Ciencia e Ingeniería*, 8(1), 21-27. <https://jci.uniautonomia.edu.co/2016/2016-3.pdf>
- Sepúlveda, J. (2014). Análisis de Varianza. *Rev Chil Anest.* 46, 306-310. <https://revistachilenadeanestesia.cl/PII/revchilanestv43n04.07.pdf>
- Shah, A., Hasan, F., Hameed, A., y Ahmed, S. (2008). Biological Degradation of Plastics: A Comprehensive Review [Degradación biológica de plásticos: una revisión exhaustiva]. *Biotechnology advances.* 26(3). 246-65. 10.1016/j.biotechadv.2007.12.005.
- Siesquen, B. y Trujillo, L. (2019). *Utilización del gusano de cera (Gallería mellonella) para la biodegradación de los contenedores de poliestireno expandido (tecnopor), Moyobamba, 2019* [Tesis de grado, Universidad César Vallejo]. Repositorio UCV. https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/47724/Siesquen_ABN-Trujillo_VLM-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Snedecor, G. y Cochran, W. (1983) *Statistical Methods*. 6th Edition, Oxford and IBH Publishing. New Delhi. [https://www.scirp.org/\(S\(i43dyn45teexjx455qlt3d2q\)\)/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=2065752](https://www.scirp.org/(S(i43dyn45teexjx455qlt3d2q))/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=2065752)
- Suresh, K., y Chandrabanda, T. (2019). First report on biodegradation of low density polyethylene by rice moth larvae, *Corcyra cephalonica* (stainton) [Primer informe sobre la biodegradación de polietileno de baja densidad por larvas de polilla del arroz, *Corcyra cephalonica* (stainton)]. *The holistic environment*, 9(4), 79-83. <https://hreak.srce.hr/file/333534>.
- Thompson, R., Moore, C., Vom Saal, F., y Swan, S. (2009). Plastics, the environment and human health: current consensus and future trends [Plásticos, medio ambiente y salud humana: consenso actual y tendencias futuras]. *Philosophical transactions of the Royal Society B: Biological sciences*, 364(1526), 2153–2166. <https://doi.org/10.1098/rstb.2009.0053>
- Urretabizkaya, N., Vasicek, A. y Saini, E. (2010). *Insectos perjudiciales de importancia agronómica*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria [INTA], Buenos Aires. ISBN: 978-987-1623-56-3.
- Velasco, M. (2017). *Biodegradación del polietileno de baja densidad, mediante el uso del lepidóptero Gallería mellonella bajo condiciones térmicas controladas en el 2017* [Tesis de grado, Universidad César Vallejo]. Repositorio UCV.

https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/12614/Velasco_UMJ.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Vélez, V. y Mosquera, B. (2011). *Reciclaje de plásticos* [Tesis de grado, Universidad de Guayaquil]. Repositorio UG. <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/5136/1/T207.pdf>

Walpole, R., Myers, R., Myers S. y Ye, K. (2012). *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias* (9° Edición). Norma, México: D.R., 162-157. ISBN: 978-607-32-1417-9

Wojda, I., Staniec, B., Sułek, M. y Kordaczuk, J. (2020). The greater wax moth *Galleria mellonella*: biology and use in immune studies [La gran polilla de la cera *Galleria mellonella*: biología y uso en estudios inmunológicos]. *Pathogens and Disease*, 78(9). <https://doi.org/10.1093/femspd/ftaa057>

Zamorano, D. (2009). *Uso de Bacillus thuringiensis L. como agente de control de larvas de la polilla mayor de la cera Galleria mellonella L. (Lepidoptera: Pyralidae)* [Tesis de grado, Universidad Austral de Chile]. Repositorio UACH. <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2009/faz.25u/doc/faz.25u.pdf>

Zumbado, M. y Azofeifa, D. (2018). *Insectos de Importancia Agrícola. Guía Básica de Entomología* (1ª edición.). Programa Nacional de Agricultura Orgánica (PNAO). <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/H10-10951.pdf>

TERMINOLOGÍA

Análisis de Varianza (ANOVA). El Análisis de Varianza ANOVA (siglas en inglés) consiste en un grupo de métodos estadísticos que sirven cuando se tienen más de dos grupos y necesitan ser comparados; también cuando hay más de dos repeticiones, asimismo siempre que las características de las variables puedan perturbar en los resultados (Sepúlveda, 2014).

Biodegradabilidad. Es la capacidad de un polímero de biodegradarse en condiciones de laboratorio y/o descomposición de un compuesto químico orgánico por microorganismos en presencia o ausencia de oxígeno (O₂), dióxido de carbono (CO₂), agua y sales minerales u otro elemento presente (Organización Internacional de Normalización [ISO], 2020).

Biodegradación. Consiste en una serie de procesos en los que destaca la mineralización de las estructuras orgánicas por medio de seres vivos como los microorganismos, los cuales transforman el plástico en compuestos como dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), agua (H₂O) y biomasa (Rodríguez, 2012).

Diseño experimental. Radica en realizar cambios en algún valor de la variable independiente para observar y analizar su acción sobre la variable dependiente; tal acción se realiza de manera controlada para poder describir las razones o causas que hacen que se produzca tal acontecimiento (Murillo, 2011).

Estadística Descriptiva. Está compuesta por procedimientos empleados para simplificar y/o resumir datos obtenidos de un conjunto de mediciones sea de una muestra o una población. (Mendenhall *et al.*, 2009).

Estadística inferencial. Ayuda a sacar conclusiones, realizar pronósticos, tomar decisiones guiados de información contenida y recolectada en una muestra (Mendenhall *et al.*, 2009).

***Galleria mellonella* L.** Es una especie de tipo cosmopolita, que llega a causar daños perjudiciales en las colmenas. En su etapa adulta (polilla) la abertura entre alas es de 25 a 30 mm, resaltando que las adultas ligeramente son más grandes que los machos. El tamaño final

del lepidóptero depende de las condiciones de alimentación en su etapa juvenil. (Urretabizkaya, *et al.*, 2010).

Homocedasticidad. Consiste en que en todos los grupos las varianzas deben ser iguales (Santos *et al.*, 2013).

Larva. Según el tipo de alimento que consumen existen las lecitotróficas que pueden o no tener tubo alimenticio, las facultativas que pueden alimentarse antes de la metamorfosis y las planctotróficas que comen detritus, plancton o parásitos (Chia, 1974).

Polietileno. El polietileno es un material parcialmente cristalino y amorfo. Se puede clasificar en tres tipos los cuales son el polietileno de baja densidad, de mediana densidad y de alta densidad. Su estructura química es $-(CH_2-CH_2)_n-$, está compuesta por dos átomos de carbono y cuatro de hidrógeno unidos por enlaces covalentes (Roca, 2005).

Polietileno de baja densidad (LDPE). Es un polímero que tiene como principal materia prima al petróleo. Las propiedades que presenta son muchas destacando entre ellos la ductilidad, resistencia química y tenacidad (Ararat y Murillo, 2016).

Prueba de Bartlett. Para dos o más grupos es una prueba que sirve para el contraste de hipótesis que identifica si las varianzas son iguales (Ferrán, 2001). Sirve para evaluar si hay varianzas iguales en “n” muestras, dado que es sensible con datos no normales (Snedecor y Cochran, 1983).

Prueba de Tukey. Sirve para comparar pares de medias de un grupo de tratamientos cuyos valores se analizan ordenados de menor a mayor (Núñez, 2018).

APÉNDICES

Apéndice 1. Pesaje de salvado de maíz



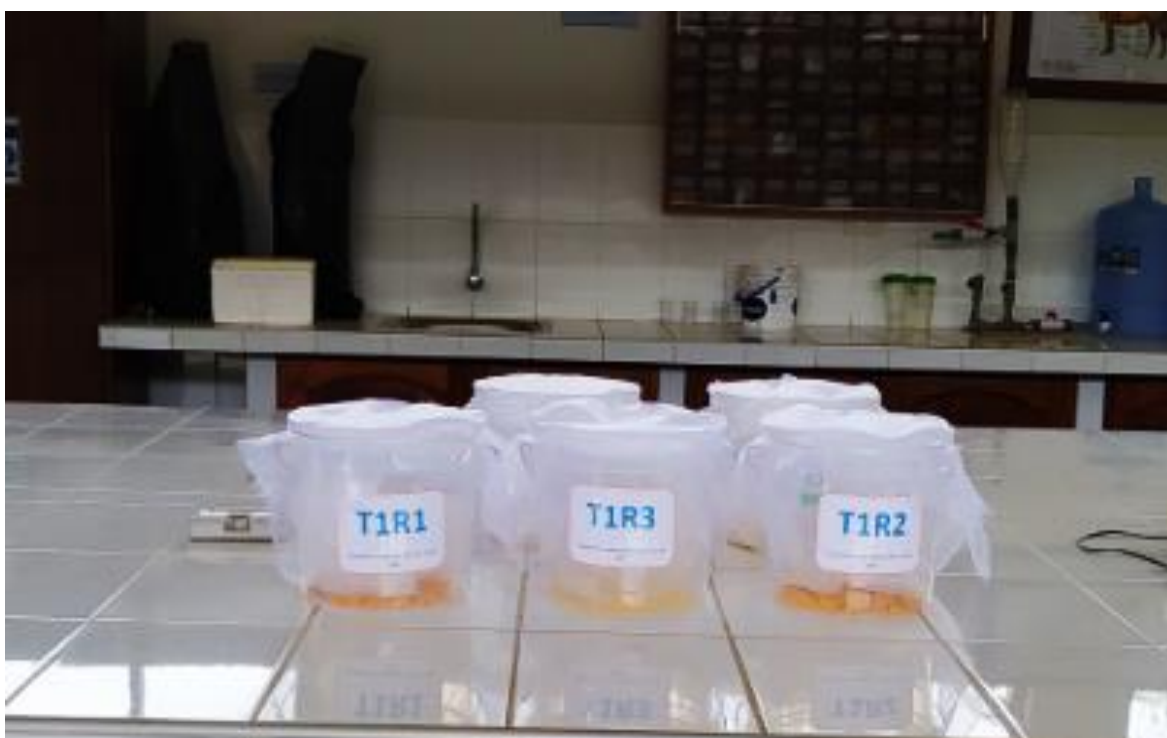
Apéndice 2. Pesaje de la miel



Apéndice 3. Adición de larvas de *Galleria mellonella* para traslado de campo al laboratorio



Apéndice 4. Tratamiento 1 con sus respectivas repeticiones



Apéndice 5. Preparación de dieta (salvado de maíz más miel de abeja).



Apéndice 6. Insumos y materiales utilizados en el experimento



Apéndice 7. Ficha de eficiencias

Cantidad óptima de larvas del "Gusano de la cera" (*Galleria mellonella* L.) en biodegradación del polietileno de baja densidad - Nueva Cajamarca

Ficha de eficiencias

Descripción	Tratamiento	Repetición	Clave	Masas		Eficiencia $= \frac{M_i - M_f}{M_f}$
				Inicial (g)	Final (g)	
Sin larvas de <i>G. mellonella</i> (control)	Tratamiento 0	-	T0			
Larvas de <i>G. mellonella</i> (10) + 5 g de LDPE	Tratamiento 1	Repetición 1	T1R1			
		Repetición 2	T1R2			
		Repetición 3	T1R3			
		Repetición 4	T1R4			
		Repetición 5	T1R5			
Larvas de <i>G. mellonella</i> (15) + 5 g de LDPE	Tratamiento 2	Repetición 1	T2R1			
		Repetición 2	T2R2			
		Repetición 3	T2R3			
		Repetición 4	T2R4			
		Repetición 5	T2R5			
Larvas de <i>G. mellonella</i> (20) + 5 g de LDPE	Tratamiento 3	Repetición 1	T3R1			
		Repetición 2	T3R2			
		Repetición 3	T3R3			
		Repetición 4	T3R4			
		Repetición 5	T3R5			

Apéndice 8. Biodegradabilidad por repetición y tratamiento

DESCRIPCION	TRATAMIENTO	REPETICIÓN	CODIFICACIÓN	MASA INICIAL (gramos)	MASA FINAL (gramos)	% Biodegradabilidad por repetición	% Biodegradabilidad por tratamiento
Sin larvas de <i>G. mellonella</i> (Control)	0	0	T0	5	5.00	0.00%	0.00%
Larvas de <i>G. mellonella</i> (10 UN) + 5 g de LDPE	1	1	T1R1	5	4.82	3.60%	1.24%
	1	2	T1R2	5	4.96	0.80%	
	1	3	T1R3	5	4.97	0.60%	
	1	4	T1R4	5	4.95	1.00%	
	1	5	T1R5	5	4.99	0.20%	
Larvas de <i>G. mellonella</i> (15 UN) + 5 g de LDPE	2	1	T2R1	5	4.87	2.60%	2.52%
	2	2	T2R2	5	4.77	4.60%	
	2	3	T2R3	5	4.88	2.40%	
	2	4	T2R4	5	4.96	0.80%	
	2	5	T2R5	5	4.89	2.20%	
Larvas de <i>G. mellonella</i> (20 UN) + 5 g de LDPE	3	1	T3R1	5	4.72	5.60%	5.68%
	3	2	T3R2	5	4.79	4.20%	
	3	3	T3R3	5	4.68	6.40%	
	3	4	T3R4	5	4.79	4.20%	
	3	5	T3R5	5	4.60	8.00%	

Apéndice 9. Estadísticos descriptivos para la masa (g) final, según tratamiento

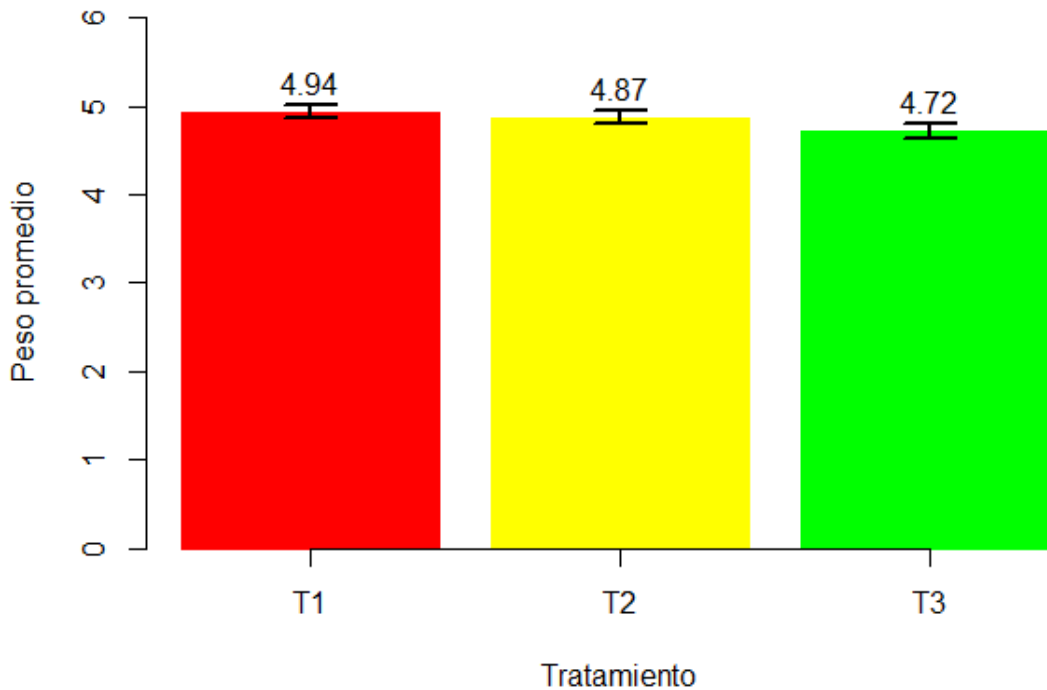
Tratamiento	n	Mean	SD	Mín.	Q1	Median	Q3	Máx.
T1	5	4,94	0,0676	4,82	4,95	4,96	4,97	4,99
T2	5	4,87	0,0680	4,77	4,87	4,88	4,89	4,96
T3	5	4,72	0,0802	4,60	4,68	4,72	4,79	4,79

Nota. n, sd, Q1, Q3 representan a cantidad de repeticiones por tratamiento, desviación estándar, cuartil 1 y cuartil 3, respectivamente. T1= Larvas de *G. mellonella* (10) + 5 g de LDPE, T2= Larvas de *G. mellonella* (15) + 5 g de LDPE, T3= Larvas de *G. mellonella* (20) + 5 g de LDPE. Análisis de laboratorio

Se presenta algunos estadísticos descriptivos de los tratamientos, para cada tratamiento se ha realizado n= 5 repeticiones. De las tres cantidades de larvas con las que se ha experimentado, se tiene que en el grupo de larvas de *G. mellonella* (10) + 5 g de LDPE (T1) la masa promedio final es 4,94 g (SD= 0,0676), también se tiene que la masa final mínima y máximo es 4,82 y 4,99, respectivamente. En el grupo de larvas de *G. mellonella* (15) + 5 g de LDPE (T2) la masa promedio final es 4,87 g (SD= 0,0680), también se tiene que la masa final mínimo y máximo es 4,77 y 4,96, respectivamente. Finalmente, en el grupo de larvas de *G. mellonella* (20) + 5 g de LDPE la masa promedio final es 4,72 g (SD= 0,0802),

también se tiene que la masa final mínima y máxima es 4,60 y 4,79, respectivamente. En promedio, el T3 es más efectivo para la degradación de plástico, frente a T1 y T2. En lo que respecta a la mediana, el T3 también es menor (4,79 g) que en los tratamientos T1 y T2.

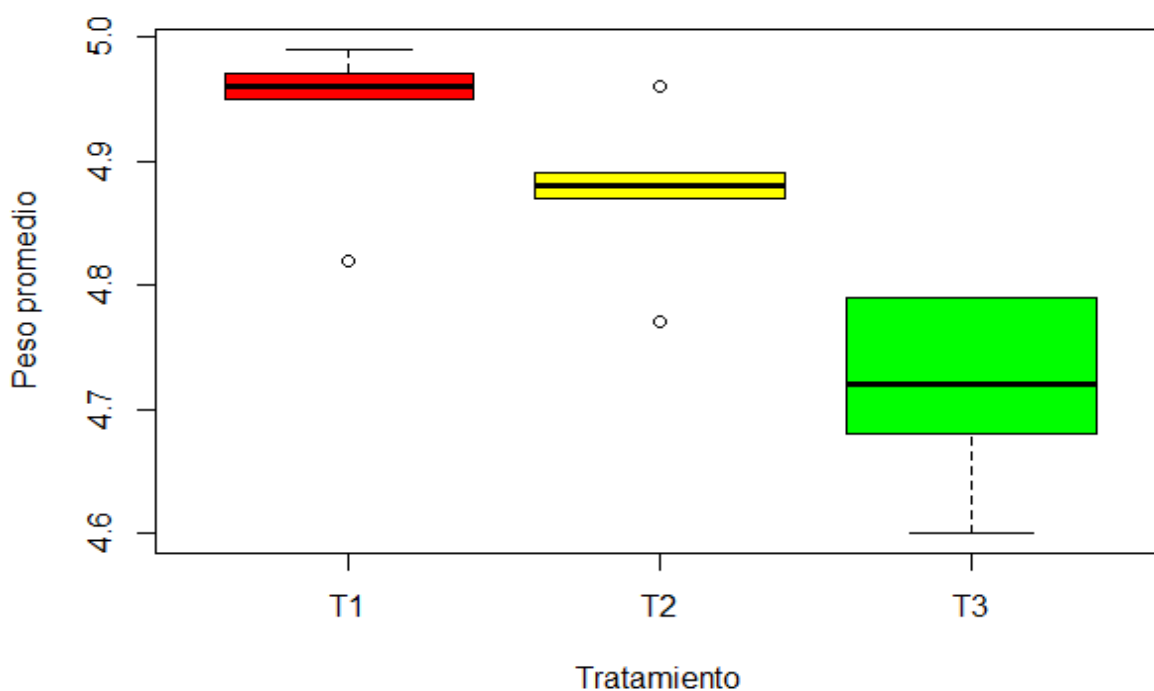
Apéndice 10. Representación gráfica de los promedios de masa (g) final, según tratamiento



Nota. T1= Larvas de *G. mellonella* (10) + 5 g de LDPE, T2= Larvas de *G. mellonella* (15) + 5 g de LDPE, T3= Larvas de *G. mellonella* (20) + 5 g de LDPE. Análisis de laboratorio

Se aprecia la masa (g) final promedio de los tres diferentes tratamientos. Así como el tratamiento con mejor efectividad promedio (4,72 g) es el grupo de Larvas de *G. mellonella* (20) + 5 g de LDPE (T3). Respecto a la variabilidad, aparentemente es similar en los tres grupos de larvas utilizadas. Además, el grupo de larvas de *G. mellonella* (15) + 5 g de LDPE, en promedio (4,87 g) es aparentemente mejor que el grupo de larvas de *G. mellonella* (10) + 5 g de LDPE, quien tiene un promedio igual a 4,94 g.

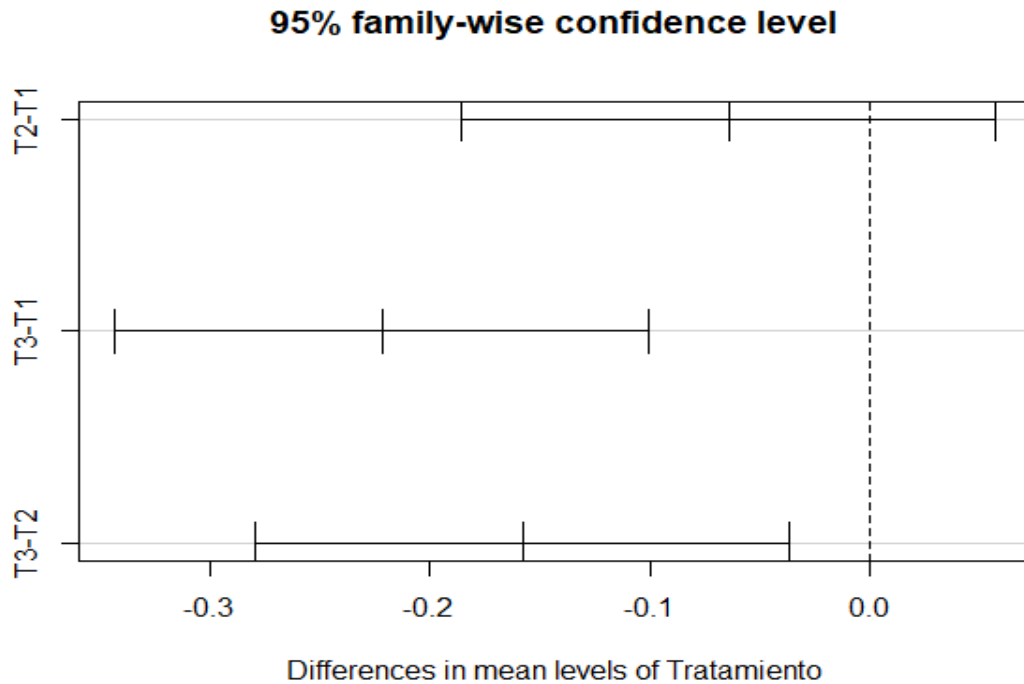
Apéndice 11. Representación gráfica a través de boxplot de masa (g) final, según tratamiento



Nota. T1= Larvas de *G. mellonella* (10) + 5 g de LDPE, T2= Larvas de *G. mellonella* (15) + 5 g de LDPE, T3= Larvas de *G. mellonella* (20) + 5 g de LDPE. Análisis de laboratorio

Se presenta la dispersión de las masas finales, según tratamientos. Donde se aprecia que en el T1 la dispersión es similar al T2, sin embargo, respecto a T3 es menor. También se aprecia en que T1 y T2, existen datos considerados outliers (valores atípicos), frente a ello para el análisis posterior se ha considerado tal como están; porque se esperaba que no influyeran en dicho análisis y eso es lo que ha sucedido. La dispersión es mayor en el T3, frente a T1 y T2. Posteriormente, se realiza el análisis de varianza.

Apéndice 12. Intervalos de confianza de las diferencias en la masa (g) final, según tratamiento



Nota. T1= Larvas de *G. mellonella* (10) + 5 g de LDPE, T2= Larvas de *G. mellonella* (15) + 5 g de LDPE, T3= Larvas de *G. mellonella* (20) + 5 g de LDPE. Análisis de laboratorio

Se aprecia gráficamente las diferencias en la masa promedio final, según tratamiento. Existe diferencia significativa ($p < 0,05$) en aquellos intervalos que no contienen a cero ([T3-T2] y [T3-T1]), también se aprecia que dichos intervalos se encuentran en el cuadrante II (negativos), eso indica que los valores promedio es menor en el T3. Lo cual significa que el grupo de larvas de *G. mellonella* (20) + 5 g de LDPE degrada más que los tratamientos 1 y 2, respectivamente.

Apéndice 13. Análisis de varianza (ANOVA) usando la masa (g) final por tratamiento

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	p	partial η^2	partial η^2 95% CI [LL, UL]
Tratamiento	0,13	2	0,06	12,53	,001	,68	[,21; ,80]
Error	0,06	12	0,00				

Nota. LL y UL representan el límite inferior y límite superior del intervalo de confianza del tamaño de efecto (η^2) de los tratamientos. Análisis de laboratorio.

Se presenta el análisis de varianza (ANOVA), considerando la masa final como el efecto de las diferentes cantidades de larvas aplicadas (tratamientos). Existe un efecto significativo ($p < 0,05$) en al menos una de las tres cantidades de larvas utilizadas. También se aprecia que dicho efecto es del 68 % [21 %, 80 %].

Apéndice 14. Contrastes de hipótesis - Análisis de varianza (ANOVA) –Kruskal Wallis

1. Planteamiento de hipótesis

H_0 : La masa (g) final promedio es igual para cada una de las tres diferentes cantidades larvas utilizadas (tratamientos)

H_a : La masa (g) final promedio es diferente en al menos una de las tres diferentes cantidades larvas utilizadas (tratamientos)

2. Nivel de significancia

$$\alpha = 0,05$$

3. Estadístico de prueba

$$F_{cal} = \frac{CM_{TRAT}}{CM_{ERROR}} \sim F_{(k-1);(n-k)}$$

4. Regla de decisión

Si p-value. $> \alpha$ no se rechaza la hipótesis nula (H_0)

5. Cálculos y decisión

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	p	partial η^2	partial η^2 95% CI [LL, UL]
--------	----------------	----	-------------	---	---	------------------	-------------------------------------

Tratamiento	0,13	2	0,06	12,53	,001	,68	[,21, ,80]
Error	0,06	12	0,00				

Nota. Análisis de laboratorio

Conclusión

Se concluye que existe diferencias significativas ($p < 0,05$) en la masa (g) final promedio de al menos una de las tres diferentes cantidades larvas utilizadas (tratamientos)

Apéndice 15. Comparaciones múltiples para las diferentes cantidades de larvas

Tratamiento	Diff	Lwr	upr	p adj
T2-T1	-0,064	-0,1857902	0,05779024	0,3706568
T3-T1	-0,222	-0,3437902	-0,10020976	0,0010479
T3-T2	-0,158	-0,2797902	-0,03620976	0,0121153

Nota. diff=diferencia entre cada tratamiento (cantidad de larvas), lwr=límite inferior de la diferencia, upr=límite superior de la diferencia p adj=p-value de la diferencia. T1= Larvas de *G. mellonella* (10) + 5 g de LDPE, T2= Larvas de *G. mellonella* (15) + 5 g de LDPE, T3= Larvas de *G. mellonella* (20) + 5 g de LDPE. Análisis de laboratorio

Se tiene el análisis de comparaciones múltiples, dicho análisis se ha realizado para determinar en cuál de los tres grupos (tratamientos) existe diferencias significativas sobre la masa promedio final de plástico. De dicho análisis se concluye que existe diferencia significativa ($p < 0,05$) entre T3-T1 y T3-T2; en consecuencia, se concluye que el T3 correspondiente al grupo de larvas de *G. mellonella* (20) + 5 g de LDPE es mejor ($p < 0,05$) frente a T1 y T2; sin embargo, no sucede lo mismo ($p > 0,05$) con T2 y T1.

Apéndice 16. Contrastes de hipótesis - Comparaciones múltiples –Tukey

1. Planteamiento de hipótesis

$H_0: \mu_i = \mu_j$ La masa (g) promedio final de LDPE es igual entre las distintas cantidades de larvas (comparadas entre dos tratamientos)

$H_a : \mu_i \neq \mu_j$ La masa (g) promedio final de LDPE es diferente entre las distintas cantidades de larvas (comparadas entre dos tratamientos)

2. Nivel de significancia

$$\alpha = 0,05$$

3. Estadístico de prueba

$$T_{cal} = q_{\alpha; k; N-k} * \sqrt{\frac{CME}{n_i}}$$

4. Regla de decisión

Si p-value. $> \alpha$ no se rechaza la hipótesis nula (H_0)

5. Cálculos y decisión

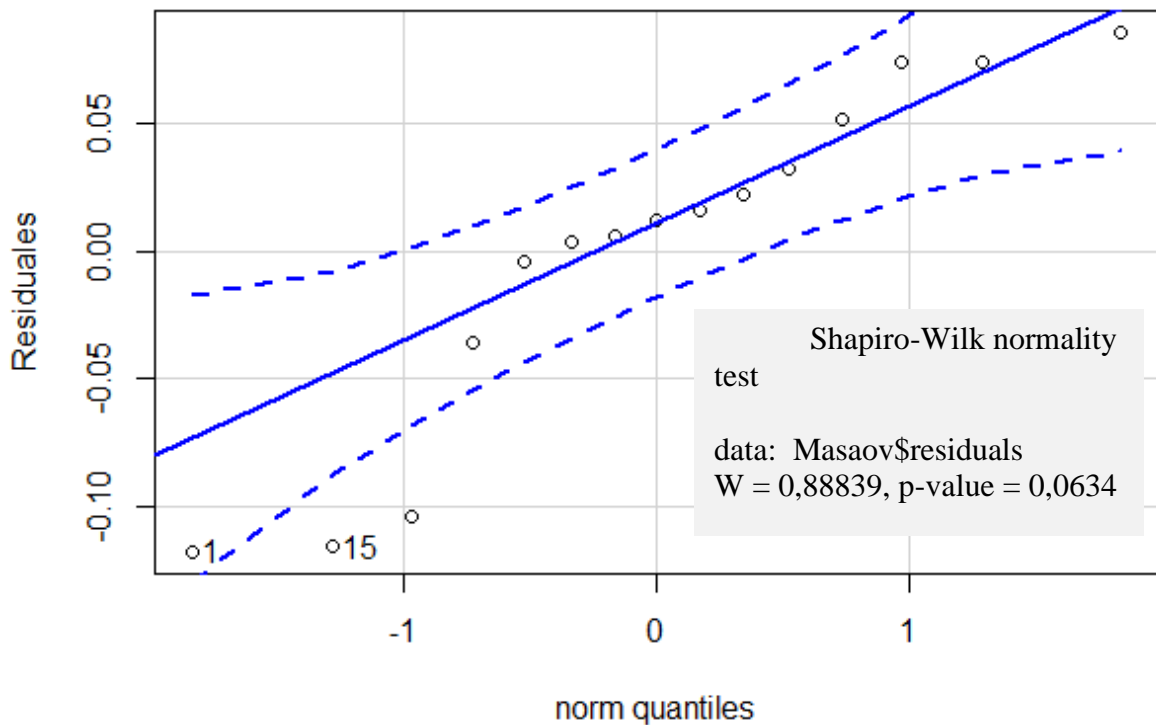
Tratamiento	diff	Lwr	upr	p adj
T2-T1	-0,064	-0,1857902	0,05779024	0,3706568
T3-T1	-0,222	-0,3437902	-0,10020976	0,0010479
T3-T2	-0,158	-0,2797902	-0,03620976	0,0121153

Nota. Análisis de laboratorio

6. Conclusión

Existe diferencia significativa ($p < 0,05$) entre Larvas de *G. mellonella* (15) + 5 g de LDPE (T2) Vs. Larvas de *G. mellonella* (10) + 5 g de LDPE (T1), y Larvas de *G. mellonella* (20) + 5 g de LDPE (T3) Vs. Larvas de *G. mellonella* (10) + 5 g de LDPE (T1)

Apéndice 17. Cuantiles teóricos frente a los residuos del ANOVA para la masa (g) final



Nota. nom quantiles, representan a los cuantiles teóricos de la distribución normal estándar.

Análisis de laboratorio

Se aprecia la distribución de los residuos (Y) del ANOVA, con respecto a los valores normales estandarizados (X), de los 15 residuos, dos de ellos están fuera de los límites de confianza (95 %); sin embargo, de acuerdo con la prueba de normalidad Shapiro-Wilk, los residuos tienen una distribución normal ($p > 0,05$). Por lo tanto, se está cumpliendo el supuesto de normalidad.

Apéndice 18. Contrastes de hipótesis - prueba de normalidad – Shapiro Wilk

1. Planteamiento de hipótesis

H_0 = Los residuos del ANOVA tienen una distribución normal

H_a = Los residuos del ANOVA no tienen una distribución normal

2. Nivel de significancia

$$\alpha = 0,05$$

3. Estadístico de prueba

$$W = \frac{1}{nS^2} \left[\sum_{i=1}^{i=h} a_{j,n} (x_{n-j+1} - x_j) \right]^2$$

4. Regla de decisión

Si p-value. $> \alpha$ no se rechaza la hipótesis nula (H_0)

5. Cálculos y decisión

Shapiro-Wilk normality test

data: Pesoaov\$residuals

W = 0,88839, p-value = 0,0634

Nota. Análisis de laboratorio

6. Conclusión

Se concluye que los residuos del ANOVA tienen una distribución normal ($p > 0,05$)

Apéndice 19. Prueba de homogeneidad de varianzas sobre la masa (g) final, según tratamientos – Prueba de Bartlett

Bartlett test of homogeneity of variances

data: Pesoaov\$residuals by Tratamiento

Bartlett's K-squared = 0,1393, df = 2, p-value = 0,9327

Nota. df indica grados de libertad. Análisis de laboratorio

Se presenta el análisis de igualdad de varianzas (homocedasticidad) de la masa final en cada uno de los tres tratamientos. Donde se concluye que las varianzas en cada uno de los grupos son iguales ($p > 0,05$), con lo que se está cumpliendo con el supuesto de homogeneidad.

En consecuencia, se cumple con los supuestos del análisis de varianza (ANOVA) paramétrico. Por lo que se tiene la certeza de que los resultados aquí presentados cumplen con la rigurosidad estadística, y como tal son aplicables en la realidad investigada.

Apéndice 20. Contrastes de hipótesis - Prueba de homocedasticidad – Bartlett

1. Planteamiento de hipótesis

$H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \sigma_3^2$ Las varianzas de la masa (g) final entre las tres cantidades de larvas utilizadas, son iguales.

$H_a: \sigma_i^2 \neq \sigma_j^2$ Las varianzas de la masa (g) final entre las tres cantidades de larvas utilizadas, son diferentes en al menos una de las cantidades.

2. Nivel de significancia

$$\alpha = 0,05$$

3. Estadístico de prueba

$$X_q^2 = 2,3026 * \frac{q}{c}$$

Donde:

$$q = (N - a) \log_{10} S_p^2 - \sum_{i=1}^a (n_i - 1) \log_{10} S_i^2$$

$$c = 1 + \frac{1}{3(a - 1)} \left(\sum_{i=1}^a (n_i - 1)^{-1} - (N - a)^{-1} \right)$$

$$S_p^2 = \frac{\sum_{i=1}^a (n_i - 1) S_i^2}{N - a}$$

4. Regla de decisión

Si $p\text{-value} > \alpha$ no se rechaza la hipótesis nula (H_0)

5. Cálculos y decisión

Bartlett test of homogeneity of variances

data: Pesoaov\$residuals by Tratamiento

Bartlett's K-squared = 0,1393, df = 2, p-value = 0,9327

Nota. Análisis de laboratorio

6. Conclusión

Se concluye que las varianzas de la masa (g) final son iguales ($p > 0,05$) entre cada una de las tres diferentes cantidades de larvas, es decir, son homocedásticas.

Apéndice 21. Registro de temperatura y humedad

Repeticiones	°C			H.R %		
	Inicio	24 Horas	48 horas	Inicio	24 Horas	48 horas
T0	25,20	24,50	26,10	79	77	76
T1R1	26,00	23,80	25,80	75	82	79
T1R2	25,40	26,40	25,90	81	78	75
T1R3	25,80	27,10	27,00	77	76	85
T1R4	25,00	23,70	24,90	77	76	77
T1R5	23,50	24,20	25,00	77	79	77
T2R1	24,00	25,10	24,50	78	83	86
T2R2	25,70	26,20	25,40	79	77	75
T2R3	26,00	25,20	26,80	82	76	85
T2R4	24,90	25,80	24,80	81	82	77
T2R5	23,80	24,00	25,60	77	77	84
T3R1	25,00	26,10	24,80	83	79	86
T3R2	26,10	26,00	26,20	83	78	77
T3R3	25,40	26,00	24,80	82	79	80
T3R4	24,80	27,10	27,00	80	81	81

T3R5	26,10	25,00	26,00	75	83	83
------	-------	-------	-------	----	----	----
