

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL Y AMBIENTAL



**UNIVERSIDAD NACIONAL
DE JAÉN**

**“APLICACIÓN DE *Tenebrio molitor* (COLEOPTERA:
TENEBRIONIDAE) COMO HERRAMIENTA BIODEGRADADORA
DE POLÍMEROS EN CONDICIONES DE LABORATORIO”**

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

Autor : Bach. Ledinson Jhuniór Hoyos Ruiz

Asesores : Dr. Alexander Huamán Mera
Dr. Manuel Alejandro Ix Balam

Línea de investigación: Mitigación del cambio climático.

JAÉN-PERÚ, 2024

NOMBRE DEL TRABAJO

APLICACIÓN DE Tenebrio molitor (COLEOPTERA: TENEBRIONIDAE) COMO HERRAMIENTA BIODEGRADADORA DE POLÍME

AUTOR

Ledinson Jhunion Hoyos Ruiz

RECuento DE PALABRAS

23941 Words

RECuento DE CARACTERES

117249 Characters

RECuento DE PÁGINAS

107 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

3.1MB

FECHA DE ENTREGA

Jul 8, 2024 3:33 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Jul 8, 2024 3:34 PM GMT-5

● **8% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 7% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 5% Base de datos de trabajos entregados
- 1% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● **Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Coincidencia baja (menos de 15 palabras)

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN
Dr. Alexander Huamán Mera
Responsable de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería



ACTA DE SUSTENTACIÓN

En la ciudad de Jaén, el 16 de julio del 2024, siendo las11:30..... horas, se reunieron los integrantes del Jurado Evaluador designados con Resolución Resolución N 563-2024-UNJ/FI

Presidente, Dr. Luis Arturo Gil Ramirez

Secretario, Mg Gustavo Adolfo Martínez Sovero

Vocal, Dr. Lupo Leonidas Varas Ponce

para evaluar la sustentación del Informe Final de Tesis titulado: **“Aplicación de *Tenebrio molitor* (COLEOPTERA: Tenebrionidae)” como herramienta biodegradadora de polímeros en condiciones de laboratorio**, cuyo autor es el egresado Ledinson Jhuniór Hoyos Ruiz , de la Escuela Profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental, teniendo como asesor Dr. Alexander Huamán Mera y Dr. Manuel Alejandro Lx Balam como co – asesor.

Después de la sustentación y defensa, el Jurado Evaluador acuerda:

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

Con la siguiente mención:

Excelente	18, 19, 20	()
Muy bueno	16, 17	(<input checked="" type="checkbox"/>)
Bueno	14, 15	()
Regular	13	()
Desaprobado	12 o menos	()

Siendo las 12:10 horas, el Jurado Evaluador concluye el acto de sustentación confirmando su participación con la suscripción de la presente.

Dr. Luis Arturo Gil Ramirez
Presidente Jurado Evaluador

Mg Gustavo Adolfo
Martínez Sovero
Secretario Jurado Evaluador

Dr. Lupo Leonidas Varas
Ponce Vocal Jurado Evaluador

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	11
ABSTRACT	12
I. INTRODUCCIÓN	13
II. MATERIALES Y MÉTODOS.....	16
2.1. Ubicación geográfica.....	16
2.2. Materiales y equipos	16
2.3. Variables de estudio.....	18
2.4. Población.....	18
2.5. Muestra	19
2.6. Muestreo	19
2.7. Métodos, técnicas y procedimientos.....	20
2.7.1. Técnica de recolección de datos	20
2.7.2. Procedimientos	23
III. RESULTADOS	24
3.1. Porcentaje de degradación de los polímeros ante <i>Tenebrio molitor</i>	24
3.2. Capacidad biodegradadora de <i>Tenebrio molitor</i>	25
3.2.1. Consumo de masa de polímeros durante 2 meses.	26
3.2.2. Análisis estadístico de la capacidad biodegradadora de <i>T. molitor</i>	31
3.3. Efecto en la alimentación con polímero para <i>Tenebrio molitor</i>	37
3.3.1. Tasa de supervivencia de <i>Tenebrio molitor</i> para el mes 2	37
3.3.2. Análisis de supervivencia de las larvas de <i>Tenebrio molitor</i>	44
IV. DISCUSIÓN.....	60
4.1. Porcentaje de degradación ante <i>Tenebrio molitor</i>	60
4.2. Capacidad biodegradadora de <i>Tenebrio molitor</i>	61
4.3. Efecto en la alimentación con polímero para <i>Tenebrio molitor</i>	62
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	66
5.1. CONCLUSIONES	66
5.2. RECOMENDACIONES.....	66
VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	68
AGRADECIMIENTO	74
DEDICATORIA.....	74
ANEXOS	74

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Materiales y equipos.</i>	17
Tabla 2. <i>Tipo y descripción de cada variable de estudio.</i>	18
Tabla 3. <i>Tratamientos, repeticiones y controles.</i>	21
Tabla 4. <i>Degradación porcentual promedio de los 5 tipos de polímeros</i>	25
Tabla 5. <i>Consumo de masa del polímero PET “botella plástica” durante 2 meses</i>	26
Tabla 6. <i>Consumo de masa del polímero HDPE “botella de detergente” al 2° mes.</i>	27
Tabla 7. <i>Consumo de masa del polímero LDPE “bolsa plástica” al 2° mes.</i>	28
Tabla 8. <i>Consumo de masa del polímero PP “mascarilla quirúrgica” al 2° mes.</i>	29
Tabla 9. <i>Consumo de masa del polímero PS “unicel” al 2° mes.</i>	30
Tabla 10. <i>Prueba para el polímero PET “Botella plástica”</i>	31
Tabla 11. <i>Prueba para el polímero HDPE “Botella de detergente”</i>	32
Tabla 12. <i>Prueba para el polímero LDPE “Bolsa plástica”</i>	32
Tabla 13. <i>Prueba para el polímero PP “Mascarilla quirúrgica”</i>	33
Tabla 14. <i>Prueba para el polímero PS “Unicel”</i>	34
Tabla 15. <i>Prueba de normalidad para los 2 meses de los cinco tipos de polímeros.</i>	34
Tabla 16. <i>Prueba de homogeneidad de varianzas (homocedasticidad) para los dos meses.</i>	35
Tabla 17. <i>ANOVA de Welch para los dos meses.</i>	36
Tabla 18. <i>Tasa de supervivencia de Tenebrio molitor durante 2 meses de alimentación a base de PET “botella plástica”</i>	37
Tabla 19. <i>Tasa de supervivencia de Tenebrio molitor durante 2 meses de alimentación a base de HDPE “botella de detergente”</i>	38
Tabla 20. <i>Tasa de supervivencia de Tenebrio molitor durante 2 meses de alimentación a base de LDPE “bolsa plástica”</i>	39
Tabla 21. <i>Tasa de supervivencia de Tenebrio molitor durante 2 meses de alimentación a base de PP “mascarilla quirúrgica”</i>	40
Tabla 22. <i>Tasa de supervivencia de Tenebrio molitor durante 2 meses de alimentación a base de PS “unicel”</i>	41
Tabla 23. <i>Mortalidad promedio por canibalismo de los 5 polímeros en 2 meses de consumo.</i>	43
Tabla 24. <i>Muestras emparejadas entre larvas vivas y muertas durante 15 y 30 días para PET</i>	45
Tabla 25. <i>Muestras emparejadas entre larvas vivas y muertas durante 30 y 45 días para PET</i>	45
Tabla 26. <i>Muestras emparejadas entre larvas vivas y muertas durante 45 y 60 días para PET</i>	46

Tabla 27. <i>Muestras emparejadas entre larvas de T. molitor vivas y muertas durante 15 y 30 días para HDPE.</i>	47
Tabla 28. <i>Muestras emparejadas entre larvas de T. molitor vivas y muertas durante 30 y 45 días para HDPE.</i>	48
Tabla 29. <i>Muestras emparejadas entre larvas de T. molitor vivas y muertas durante 45 y 60 días para HDPE.</i>	49
Tabla 30. <i>Muestras emparejadas entre larvas de T. molitor vivas y muertas durante 15 y 30 días para LDPE.</i>	50
Tabla 31. <i>Muestras emparejadas entre larvas de T. molitor vivas y muertas durante 30 y 45 días para LDPE.</i>	51
Tabla 32. <i>Muestras emparejadas entre larvas de T. molitor vivas y muertas durante 45 y 60 días para LDPE.</i>	52
Tabla 33. <i>Muestras emparejadas entre larvas de T. molitor vivas y muertas durante 15 y 30 días para PP.</i>	54
Tabla 34. <i>Muestras emparejadas entre larvas de T. molitor vivas y muertas durante 30 y 45 días para PP.</i>	55
Tabla 35. <i>Muestras emparejadas entre larvas de T. molitor vivas y muertas durante 45 y 60 días para PP.</i>	56
Tabla 36. <i>Muestras emparejadas entre larvas de T. molitor vivas y muertas durante 15 y 30 días para PS.</i>	57
Tabla 37. <i>Muestras emparejadas entre larvas de T. molitor vivas y muertas durante 30 Y 45 días para PS.</i>	58
Tabla 38. <i>Muestras emparejadas entre larvas de T. molitor vivas y muertas durante 45 y 60 días para PS.</i>	59

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de ubicación del trabajo de investigación.....	16
Figura 2. Organismos de la especie <i>Tenebrio molitor</i>	18
Figura 3. Muestras de <i>Tenebrio molitor</i> (900 larvas).	19
Figura 4. Muestreos (n=30) de <i>T. molitor</i> , cada muestreo con 30 individuos.	19
Figura 5. Diseño experimental de bloques completamente al azar (DBCA).....	21
Figura 6. Flujograma del proceso de biodegradación del polímero por larvas de <i>T. molitor</i>	22
Figura 7. Flujograma de procedimientos	23
Figura 8. Disminución porcentual de masa de polímeros ante larvas de <i>Tenebrio molitor</i>	25
Figura 9. Consumo del polímero PET “botella plástica” por <i>T. molitor</i> al 2° mes.	27
Figura 10. Consumo del polímero HDPE “botella de detergente” por <i>T. molitor</i> al 2° mes.	28
Figura 11. Consumo del polímero LDPE “bolsa plástica” por <i>T. molitor</i> al 2° mes. ...	29
Figura 12. Consumo del polímero PP “mascarilla quirúrgica” por <i>T. molitor</i> al 2° mes.	30
Figura 13. Consumo del polímero PS “unicel” por <i>T. molitor</i> al 2° mes.	31
Figura 14. Masa promedio de los polímeros en los dos meses ante <i>Tenebrio molitor</i> . 36	
Figura 15. Tasa de supervivencia de <i>Tenebrio molitor</i> durante 2 meses con una alimentación a base de PET “botella plástica”.	38
Figura 16. Tasa de supervivencia de <i>Tenebrio molitor</i> durante 2 meses con una alimentación a base de HDPE “botella de detergente”	39
Figura 17. Tasa de supervivencia de <i>Tenebrio molitor</i> durante 2 meses a base de una alimentación de LDPE “bolsa plástica”.	40
Figura 18. Tasa de supervivencia de <i>Tenebrio molitor</i> durante 2 meses de alimentación a base de PP “mascarilla quirúrgica”.	41
Figura 19. Tasa de supervivencia de <i>Tenebrio molitor</i> durante 2 meses de alimentación a base de PS “unicel”.	42
Figura 20. Canibalismo promedio en relación a los 2 meses de consumo de <i>T. molitor</i>	43
Figura 21. Canibalismo porcentual (%) para cada polímero	44
Figura 22. Tasa de supervivencia de las larvas ante PET “Botella plástica” durante 2 meses.....	47
Figura 23. Tasa de supervivencia de las larvas de <i>T. molitor</i> durante HDPE “Botella de detergente” al 2° mes.	49
Figura 24. Tasa de supervivencia de las larvas de <i>T. molitor</i> durante LDPE “Bolsa común” al 2° mes.	53

Figura 25. Tasa de supervivencia de las larvas de <i>T. molitor</i> durante PP “Mascarilla quirúrgica” durante 2 meses.....	57
Figura 26. Tasa de supervivencia de <i>T. molitor</i> ante PS “unicel” durante 2 meses.....	59

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Control de masa de polímeros	75
Anexo 2. Tasa de supervivencia de 1 mes.....	76
Anexo 3. Control de condiciones ambientales del laboratorio.....	77
Anexo 4. Control de masa del PET “botella plástica” durante 1 mes.	78
Anexo 5. Control de masa para 1 mes del PET “botella plástica”	78
Anexo 6. Control de masa del HDPE “botella de detergente” durante 1 mes.	79
Anexo 7. Control de masa para 1 mes del HDPE “botella de detergente”.....	79
Anexo 8. Control de masa del LDPE “bolsa plástica” durante 1 mes.....	80
Anexo 9. Control de masa para 1 mes del LDPE “bolsa plástica”.....	80
Anexo 10. Control de masa del PP “Mascarilla quirúrgica” durante 1 mes.	80
Anexo 11. Control de masa para 1 mes del PP “Mascarilla quirúrgica”.....	81
Anexo 12. Control de masa del PS “unicel” durante 1 mes.....	81
Anexo 13. Control de masa para 1 mes del PS “unicel”	82
Anexo 14. Consumo de polímero en 1 mes de los cinco tratamientos.....	82
Anexo 15. Tasa de supervivencia de <i>Tenebrio molitor</i> ante 1 mes de PET “botella plástica”	83
Anexo 16. Tasa de supervivencia de 1 mes ante PET “botella plástica”.	83
.....	83
Anexo 17. Tasa de supervivencia de <i>Tenebrio molitor</i> ante 1 mes de HDPE “botella de detergente”.....	84
Anexo 18. Tasa de supervivencia de 1 mes ante HDPE “botella de detergente”.....	84
Anexo 19. Tasa de supervivencia de <i>Tenebrio molitor</i> ante 1 mes de LDPE “bolsa plástica”.	85
Anexo 20. Tasa de supervivencia de 1 mes ante LDPE “bolsa plástica”.....	85
Anexo 21. Tasa de supervivencia de <i>Tenebrio molitor</i> ante 1 mes de PP “Mascarilla quirúrgica”.....	86
Anexo 22. Tasa de supervivencia de 1 mes ante PP “mascarilla quirúrgica”.	86
Anexo 23. Tasa de supervivencia de <i>Tenebrio molitor</i> ante 1 mes de PS “Unicel”.	87
Anexo 24. Tasa de supervivencia de 1 mes ante PS “unicel”.	87
Anexo 25. Ficha de control de las condiciones ambiental del laboratorio en 1 mes.....	88

Anexo 26. Control de las condiciones ambiental del laboratorio en 1 mes.	89
Anexo 27. Ficha de control de las condiciones ambiental del laboratorio en 2 meses. .	89
Anexo 28. Control de las condiciones ambientales del mes	90
Anexo 29. Control de tasa de supervivencia de <i>Tenebrio molitor</i> ante PET “botella plástica” a 15 días.	91
Anexo 30. Tasa de supervivencia de <i>Tenebrio molitor</i> 15 días ante PET “botella plástica”	91
Anexo 31. Control de tasa de supervivencia de <i>Tenebrio molitor</i> ante HDPE “botella de detergente” a 15 días.....	92
Anexo 32. Tasa de supervivencia de <i>Tenebrio molitor</i> ante HDPE “botella de detergente” a 15 días.....	92
Anexo 33. Control de tasa de supervivencia de <i>Tenebrio molitor</i> ante LDPE “bolsa plástica” a 15 días.	93
Anexo 34. Tasa de supervivencia de <i>Tenebrio molitor</i> 15 días ante LDPE “bolsa plástica”.	93
Anexo 35. Control de tasa de supervivencia de <i>Tenebrio molitor</i> ante PP “mascarilla quirúrgica” a 15 días.....	94
Anexo 36. Tasa de supervivencia de <i>Tenebrio molitor</i> 15 días ante PP “mascarilla quirúrgica” a 15 días.....	94
Anexo 37. Control de tasa de supervivencia de <i>Tenebrio molitor</i> ante PS “unicel” a 15 días.....	95
Anexo 38. Tasa de supervivencia de <i>Tenebrio molitor</i> 15 días ante PS “unicel”.....	95
Anexo 39. Control de tasa de supervivencia de <i>Tenebrio molitor</i> ante PET “botella plástica” a 15 días.	96
Anexo 40. Tasa de supervivencia 45 días del PET “botella plástica”.....	96
Anexo 41. Control de tasa de supervivencia de <i>Tenebrio molitor</i> ante HDPE “botella de detergente” a 45 días.....	97
Anexo 42. Tasa de supervivencia 45 días del HDPE “botella de detergente”.	97
Anexo 43. Control de tasa de supervivencia de <i>Tenebrio molitor</i> ante LDPE “bolsa plástica” a 45 días.	98
Anexo 44. Tasa de supervivencia 45 días del LDPE “bolsa plástica”.	98
Anexo 45. Control de tasa de supervivencia de <i>Tenebrio molitor</i> ante PP “mascarilla quirúrgica” a 45 días.....	99
Anexo 46. Tasa de supervivencia 45 días del PP “mascarilla”.	99
Anexo 47. Control de tasa de supervivencia de <i>Tenebrio molitor</i> ante PS a 45 días...	100
Anexo 48. Tasa de supervivencia 45 días del PS “unicel”	100
Anexo 49. Tasa de supervivencia de <i>T. molitor</i> a los 2 meses de consumo.	101

Anexo 50. Fotografías al <i>T. molitor</i> con microscopio estereoscópico Nikon SMZ18 acoplado a una cámara Nikon DS-Ri2 de la Universidad Toribio Rodríguez de Mendoza (UNTRM).	101
Anexo 51. Identificación de la especie de <i>Tenebrio molitor</i> en el laboratorio de (UNTRM).	102
Anexo 53. Canibalismo de <i>Tenebrio molitor</i>	103
Anexo 54. Degradación de los polímeros por parte de <i>Tenebrio molitor</i>	103
Anexo 55. Peso inicial de 20 gr para los 5 tipos de polímeros trabajados.	104
Anexo 56. Los 5 tipos de polímeros (PET, HDPE, LDPE, PP Y PS).	104
Anexo 57. Suministro de dietas a base de polímeros para las muestras establecidas. .	105
Anexo 58. Peso de las muestras para las dietas.	105
Anexo 59. Población y muestra de los <i>T. molitor</i>	105
Anexo 60. Tratamientos y repeticiones listas para su degradación.	106
Anexo 61. Tratamientos y repeticiones listas para la evaluación.	106
Anexo 62. Monitoreo de los tratamientos y repeticiones.	107
Anexo 63. Observación de la degradación del unicel.	107
Anexo 64. Observación de los controles.	108
Anexo 65. Materiales utilizados para el trabajo de investigación.	108

RESUMEN

El plástico es el material sintético más utilizado a nivel mundial, siendo desechado en vertederos o en el medio ambiente provocando la contaminación del agua y los ecosistemas. El objetivo de esta investigación es determinar la capacidad biodegradadora del coleóptero *Tenebrio molitor* a diferentes plásticos de uso común. La investigación es de tipo aplicada, como diseño experimental fueron seleccionadas larvas de *T. molitor* de tamaño similar y alimentadas durante dos meses con los siguientes tipos de plásticos (tratamientos): tereftalato de polietileno (PET) “botella plástica”, polietileno de alta densidad (HDPE) “botella de detergente”, polietileno de baja densidad (LDPE) “bolsa plástica”, polipropileno (PP) “mascarilla quirúrgica” y poliestireno (PS) “unicel”. Cada tratamiento tenía cinco repeticiones, cada repetición consistió en 30 larvas de *T. molitor* alimentadas con 20 g de plástico. El control tuvo larvas de *T. molitor* alimentadas con zanahoria y papa. El análisis muestra una capacidad de consumo diferenciada de *T. molitor* a los distintos tipos de plásticos (PET= 0,1068 g; HDPE = 0,0095 g; LDPE = 0,1054 g; PP = 0,1901 g y PS = 1,7677 g). *Tenebrio molitor* tiene mayor eficiencia de biodegradación del “unicel” (8,84%), en comparación con los demás tipos de plásticos evaluados. Los resultados podrán ser utilizados en el establecimiento de alternativas biotecnológicas para la degradación natural del plástico.

Palabra clave: cambio climático, contaminación, medio ambiente, polímeros, *Tenebrio molitor*.

ABSTRACT

Plastic is the most used synthetic material worldwide, being discarded in landfills or in the environment, causing contamination of water and ecosystems. The objective of this research is to determine the biodegrading capacity of the beetle *Tenebrio molitor* to different commonly used plastics. The research is of an applied type, as an experimental design, *T. molitor* larvae of similar size were selected and fed for two months with the following types of plastics (treatments): polyethylene terephthalate PET “plastic bottle”, high density polyethylene HDPE “detergent bottle”, low density polyethylene LDPE “plastic bag”, polypropylene (PP) "surgical mask" and polystyrene (PS) "styrofoam". Each treatment had five replicates, each replicate consisted of 30 *T. molitor* larvae fed 20 g of plastic. The control had *T. molitor* larvae fed with carrots and potatoes. The analysis shows a differentiated consumption capacity of *T. molitor* to different types of plastics (PET= 0,1068 g; HDPE = 0,0095 g; LDPE = 0,1054 g; PP = 0,1901 g and PS = 1. 7677 g). *Tenebrio molitor* has a higher biodegradation efficiency of “polystyrene” (8.84%), compared to the other types of plastics evaluated. The results may be used in the establishment of biotechnological alternatives for the natural degradation of plastic.

Keyword: climate change, environment, pollution, polymers, *Tenebrio molitor*.

I. INTRODUCCIÓN

El plástico se origina en 1909 cuando el químico Leo Hendrik Baekeland (1863-1944) sintetizó un polímero a partir de moléculas de fenol y formaldehído, este polímero fue llamado como baquelita (o bakelita), siendo el primer plástico sintético de la historia, esto incentivó a químicos y a la industria a buscar otras moléculas sencillas que pudieran enlazarse para crear polímeros (Garavito, 2007).

Cada año se generan 400 millones de toneladas de residuos plásticos en el mundo, el 85% de estos plásticos son de un solo uso, los cuales son desechados en vertederos o incineradores, lo anterior perjudica la salud humana, la biodiversidad y contamina los ecosistemas, desde las cumbres de las montañas hasta el fondo de los océanos (ONU, 2023). Los polímeros en el medio ambiente se transforman en micro plástico menor a 5 milímetros y nano plástico menor a 100 nanómetros por factores biológicos, químicos y físicos (Gigault *et al.*, 2018).

La contaminación de terrenos agrícolas, industriales y costeros con plásticos de pequeño o gran tamaño provoca una pérdida de propiedades físicas, químicas y biológicas que afectan el crecimiento de las plantas y el ciclo de vida de los organismos y microorganismos del suelo (Xu *et al.*, 2020). Se calcula que cada persona del planeta consume más de 50,000 partículas de plástico al año, y muchas más si se tiene en cuenta la inhalación, de esta forma la salud humana se ve amenazada por problemas asociados al plástico, que van desde la obstrucción de alimentos hasta un potencial factor de riesgo de cáncer (Halden, 2010; Bradney *et al.*, 2019; Singh *et al.*, 2020 y ONU, 2023).

Durante el año 2019, se presenció la epidemia del Coronavirus 2019, donde el contagio y propagación se dio a nivel mundial permitiendo hacer uso de materiales plásticos en mayor cantidad como los elementos de protección personal, aumentando significativamente el incremento en la contaminación y como consecuencia el riesgo a la salud humana (Fabiani *et al.*, 2022 y Prieto, 2023). Estimaciones a largo plazo indican que para el año 2050 habrá alrededor de 12 mil millones de toneladas de basura plástica en el mundo si se continúa con las

prácticas de consumo y las formas de vida actual, pues los plásticos a medida que pasa el tiempo se fragmentan, lo que para retirar y eliminar es de mucho trabajo, siendo así muy costoso (Chia *et al.*, 2020 y Flores, 2020).

El impacto negativo del plástico perjudica a los organismos y ecosistemas, donde al ser desechados al ambiente, contaminan los ríos, mares, genera lixiviación de sustancias tóxicas, entre otros. Los plásticos tienen una estructura molecular compleja, por lo que su degradación natural es difícil, además, en contacto con la luz solar pueden liberar sustancias químicas como metano y etileno, gases asociados a generar el efecto invernadero (Rivas y Garelli, 2021). La quema de los plásticos permite liberar gases tóxicos y partículas finas como micro plásticos que alteran las especies en el fondo marino, interfiriendo en la fijación de dióxido de carbono en las plantas acuáticas, permitiendo que la cadena trófica está comprometida por la presencia de plásticos en aguas dulces y saladas (Colegio de Ciencias y Humanidades, 2018; Shen *et al.*, 2020 y Chowdhury *et al.*, 2021).

Enfrentar la contaminación por plásticos requiere de un cambio sistémico, esto es pasar de la actual economía lineal, que se centra en producir, utilizar y desechar el material, a una economía circular, en la cual el plástico producido mantenga su valor durante el mayor tiempo posible (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente [PNUMA], 2023). En este sentido, el mundo puede reducir la contaminación por plásticos y crear una economía circular, para reducir el problema en un 80% para 2040 (National Geographic, 2023).

En el Perú hay desinformación acerca de la degradación de los plásticos, deficiencia de la estructura en la gestión de residuos y bajo nivel de tecnología, una de las más usadas para la degradación del plástico es la digestión química, donde consiste en generar y utilizar el calor mayor a 70°C (Munno *et al.*, 2018 y Vega, 2021). Es por ello que como alternativa para reducir la contaminación por plásticos es mediante el uso de organismos capaces de asimilar estos materiales a base de polímeros, como lo es el gusano de la harina *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae). Wei Min Wu descubrió que *T. molitor* puede alimentarse de espuma de poliestireno (conocido comúnmente como unicel), siendo esto una posible alternativa de biodegradación de los plásticos (Stanford

Woods Institute for the Environment, 2015). Su capacidad de vida del *T. molitor* de la familia Tenebrionidae y de orden coleóptera, depende de temperatura y humedad la cual vienen siendo investigadas por que son una alternativa de solución para degradación de residuos plásticos (Wu *et al.*, 2019).

Tenebrio molitor es un insecto fuerte, tiene condiciones para degradar los plásticos de baja densidad, tecnopor, polipropileno, consumiendo estos materiales y reduciendo su impacto con el proceso de la biodegradación (Bulak *et al.*, 2021). En correlación a lo dicho, se presenta que la biodegradación es un proceso metabólico por el cual los organismos transforman o mineralizan, de tal manera que puedan integrarse fácilmente a los ciclos biogeoquímicos naturales (Vidali, 2001, citado en Posada *et al.*, 2007 y Schnitzler *et al.*, 2021).

La importancia que tiene la presente investigación es encontrar una estrategia para atenuar de forma sostenible y sustentable los residuos plásticos, pretendiendo que se replique como una iniciativa experimental, contribuyendo a la búsqueda de soluciones y lograr aminorar la cantidad de plástico que se origina. Así mismo, no solo se busca hablar que el gusano de harina *Tenebrio molitor* degrada polímeros, sino ver que organismos dentro de la naturaleza pueda contribuir a un problema tan extenso como es la contaminación del plástico.

Esta investigación tuvo como objetivo general determinar la capacidad biodegradadora de *Tenebrio molitor* a distintos tipos de plásticos (polímeros), en condiciones de laboratorio. Para lograrlo, se plantearon los siguientes objetivos específicos: (I) conocer el porcentaje de degradación de *Tenebrio molitor* a cinco tipos de polímeros (PET “botella plástica”, HDPE “botella de detergente”, LDPE “bolsa plástica”, PP “mascarilla quirúrgica” y PS “unicel”); (II) comparar la capacidad biodegradadora de polímeros por el *T. molitor* e (III) identificar el efecto en la alimentación con polímero para *T. molitor*. Los datos fueron registrados en relación al peso inicial de la dieta a base de plásticos (tratamientos) y del control, así como la tasa de mortalidad de los individuos. Los resultados se presentan de manera detallada a continuación.

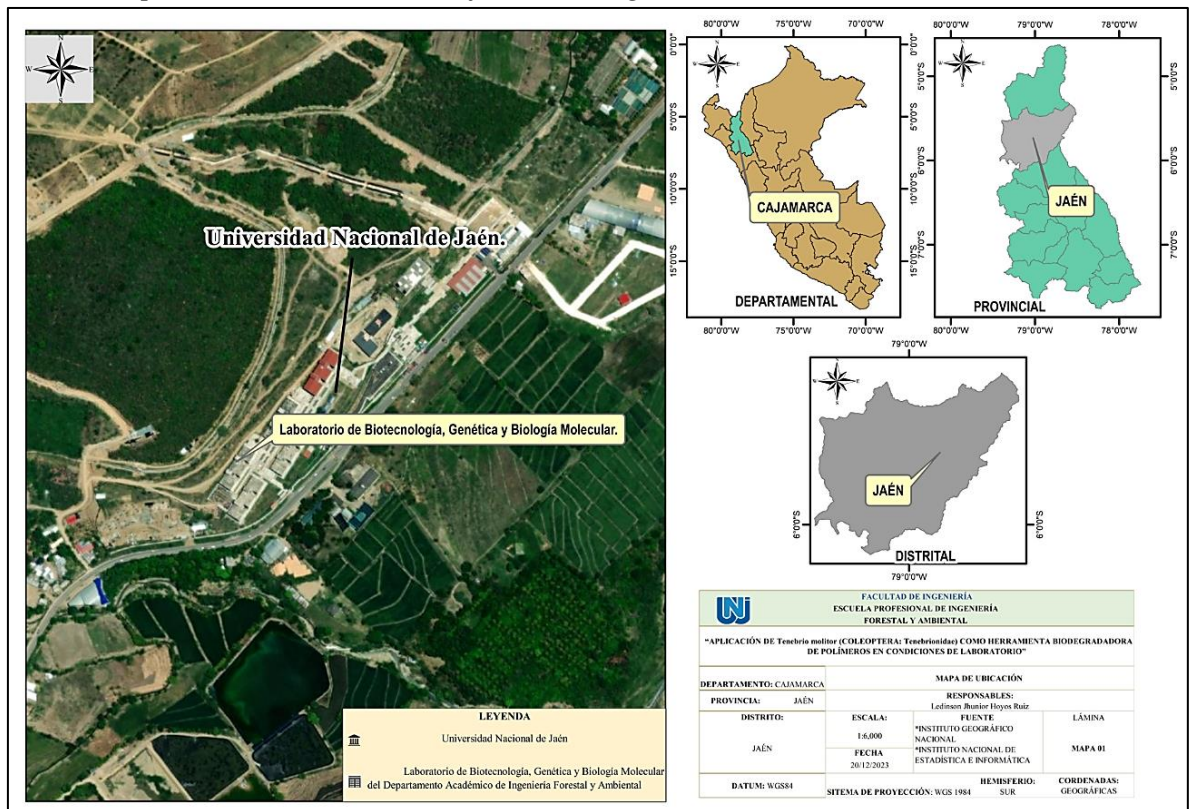
II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Ubicación geográfica

El trabajo de investigación se realizó en el laboratorio de Biotecnología, Genética y Biología Molecular del Departamento Académico de Ingeniería Forestal y Ambiental de la Universidad Nacional de Jaén (UNJ), ubicada en la Carretera Jaén - San Ignacio KM 24 - Sect. Yanuyacu, distrito Jaén, provincia Jaén y departamento Cajamarca.

Figura 1

Mapa de ubicación del trabajo de investigación



2.2. Materiales y equipos

Los materiales y equipos utilizados para el desarrollo de la presente investigación se detallan en la tabla 1.

Tabla 1*Materiales y equipos*

Descripción	Unidad	Cantidad
Materiales de Oficina		
Laptop Lenovo Core i7	Unid.	1
Lapicero	Unid.	2
Libreta	Unid.	2
Millar de papel	Unid.	1
Engrampador	Unid.	1
Perforador	Unid.	1
USB	Unid.	1
Impresora	Unid.	1
Materiales de Campo		
Cubetas.	Unid.	5
Cernidor.	Unid.	1
Pinza.	Unid.	1
Estantería e Instalación.	Unid.	1
Termohigrómetro.	Unid.	1
Bascula.	Unid.	1
Pistola de Silicona.	Unid.	1
Bisturí.	Unid.	1
Recipiente.	Unid.	30
Malla de tul.	Metros	2
Silicona.	Unid.	1
EQUIPOS		
Balanza analítica compacta HR-250A	Unid.	1
Microscopio estereoscópico Nikon SMZ18 acoplado a una cámara Nikon DS-Ri2.	Unid.	1
SERVICIOS		
Transporte	Días	180
Internet	Meses	6

2.3. Variables de estudio

Tabla 2

Tipo y descripción de cada variable de estudio.

Tipo	Variable	Descripción
Variable dependiente	Peso del polímero consumido por parte de <i>Tenebrio molitor</i> .	Capacidad y efecto en la biodegradación hacia los polímeros.
Variable independiente	Peso de los cinco tipos de polímeros (PET “botella plástica”, HDPE “botella de detergente”, LDPE “bolsa plástica”, PP “mascarilla quirúrgica” y PS “unicel”).	Manipulación de los polímeros.

2.4. Población

La población corresponde al conjunto de elementos que guardan relación en ciertas características y estas además deben ser delimitadas (Hernández *et al.*, 2014).

La población a estudiar fueron 2000 individuos del coleóptero *Tenebrio molitor*, los cuales fueron obtenidos de criaderos de *T. molitor* disponible para su comercialización (Huarancca, 2021).

Figura 2

Organismos de la especie Tenebrio molitor.



2.5. Muestra

La presente investigación utilizó una muestra de 900 larvas de *T. molitor* de entre 1 a 1.5 cm de longitud (150 individuos para el control y para cada tratamiento) (Huaranca, 2021).

Figura 3

Muestras de Tenebrio molitor (900 larvas).



2.6. Muestreo

El tipo de muestreo fue no probabilístico por conveniencia, donde se realizaron 30 muestreos (repeticiones) de *T. molitor* (Huaranca, 2021).

Figura 4

Muestreos (n=30) de T. molitor, cada muestreo con 30 individuos.



2.7. Métodos, técnicas y procedimientos.

2.7.1. Técnica de recolección de datos

Los resultados se midieron y se recopilaban utilizando herramientas electrónicas de monitoreo, registro y experimentación. La humedad relativa (%) y la temperatura (°C) fueron registradas con ayuda de un hidrómetro. Para cada repetición, el peso de los polímeros (plásticos) fue estandarizado, utilizando una balanza analítica compacta HR-250A, capacidad 252g, calibración externa, serie galaxy, marca A&D, mientras que la tasa de supervivencia en *T. molitor* se registró mediante observación directa (Huaranca, 2021). De esta manera, la investigación experimental correspondió a la categoría de diseños cuasiexperimentales, donde los sujetos de investigación no se asignan al azar, ya que existen y están formados (Carrasco, 2005).

Instrumentos de recolección de datos

Los instrumentos que se utilizaron para el registro de datos fueron:

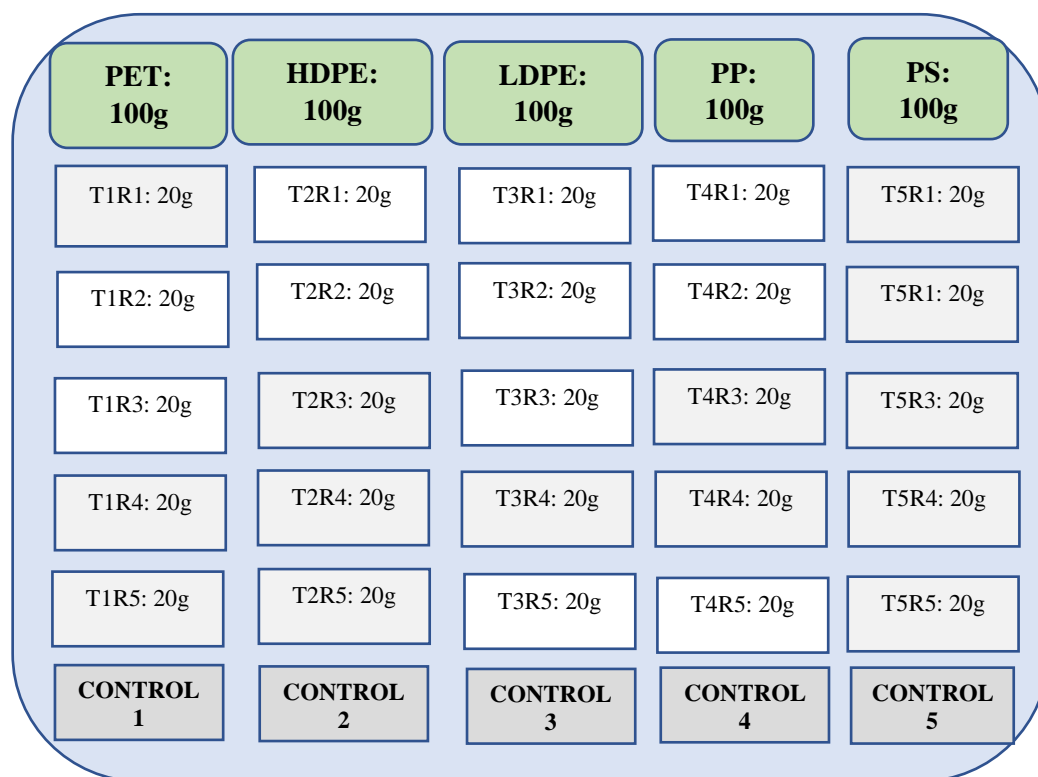
- ✓ **Ficha N°1:** “Control de masa del polímero”, esta ficha se usó para el registro de datos a los 15, 30, 45 y 60 días finalizando el tratamiento de los polímeros, usando una balanza analítica (Anexo 1).

- ✓ **Ficha N°2:** “Tasa de supervivencia”, empleado para el registro de larvas vivas y muertas, en el transcurso del estudio. El registro fue a través de observación y conteo (Anexo 2).

- ✓ **Ficha N°3:** “Control de condiciones ambientales del local”, en el cual se tomó registro de la temperatura y humedad relativa del local (Anexo 3) (Huaranca, 2021).

Tabla 3*Tratamientos, repeticiones y controles.*

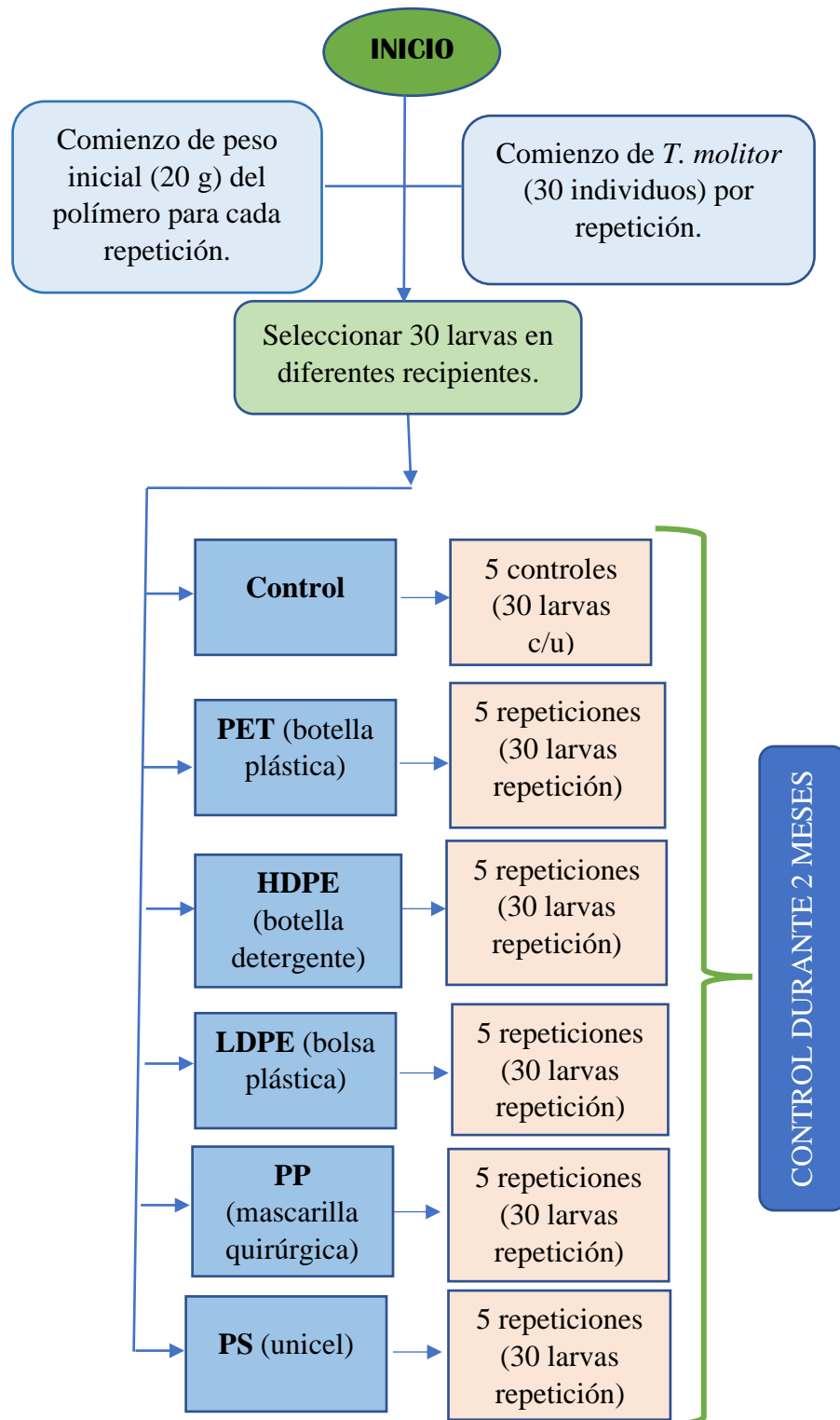
Repeticiones	T1	T2	T3	T4	T5	Control
R1	T1R1	T2R1	T3R1	T4R1	T5R1	C1
R2	T1R2	T2R2	T3R2	T4R2	T5R2	C2
R3	T1R3	T2R3	T3R3	T4R3	T5R3	C3
R4	T1R4	T2R4	T3R4	T4R4	T5R4	C4
R5	T1R5	T2R5	T3R5	T4R5	T5R5	C5

Figura 5*Diseño experimental de bloques completamente al azar (DBCA).*

Nota: La Figura 5 representa los 5 tipos de polímeros evaluados (PET “botella plástica”, HDPE “botella de detergente”, LDPE “bolsa plástica”, PP “mascarilla quirúrgica” y PS “unicel”) en recipientes de rectangulares de 10 x 5 cm, cada uno con 30 larvas *T. molitor*.

Figura 6

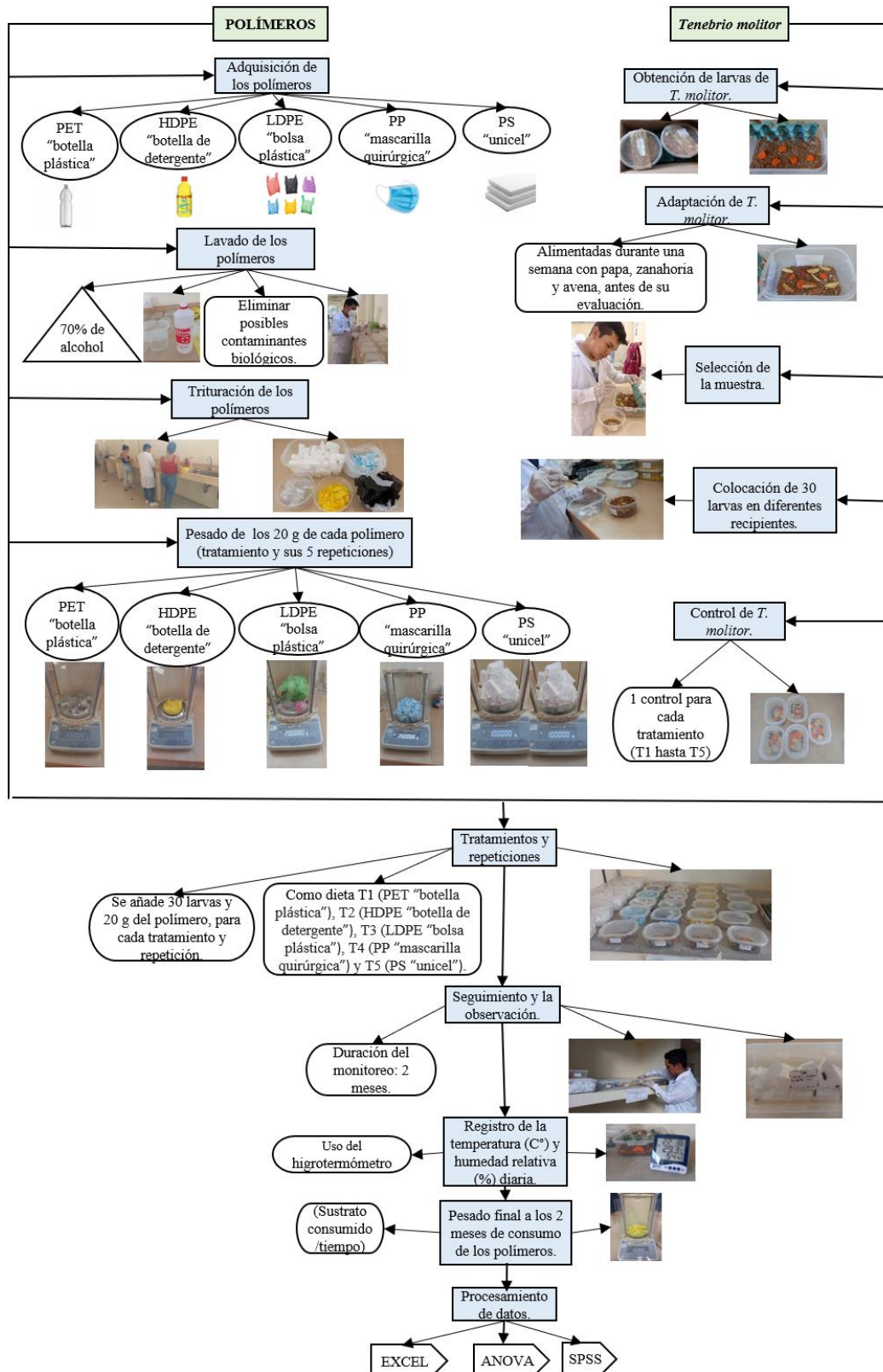
Flujograma del proceso de biodegradación del polímero por larvas de T. molitor.



2.7.2. Procedimientos

Figura 7

Flujograma de procedimientos



❖ Análisis estadístico

En el presente análisis se aborda en primer lugar la capacidad de larvas de *Tenebrio molitor* para degradar cinco tipos de polímeros: PET, HDPE, LDPE, PP y PS. Para lo anterior, se consideró dos tomas de peso con respecto al primer mes, y luego con respecto a un segundo mes, el procesamiento de la información se utilizó la prueba estadística t-student mediante el software SPSS, para identificar diferencias significativas entre los pesos con respecto al peso inicial de cada polímero el cual fue de 20g.

III. RESULTADOS

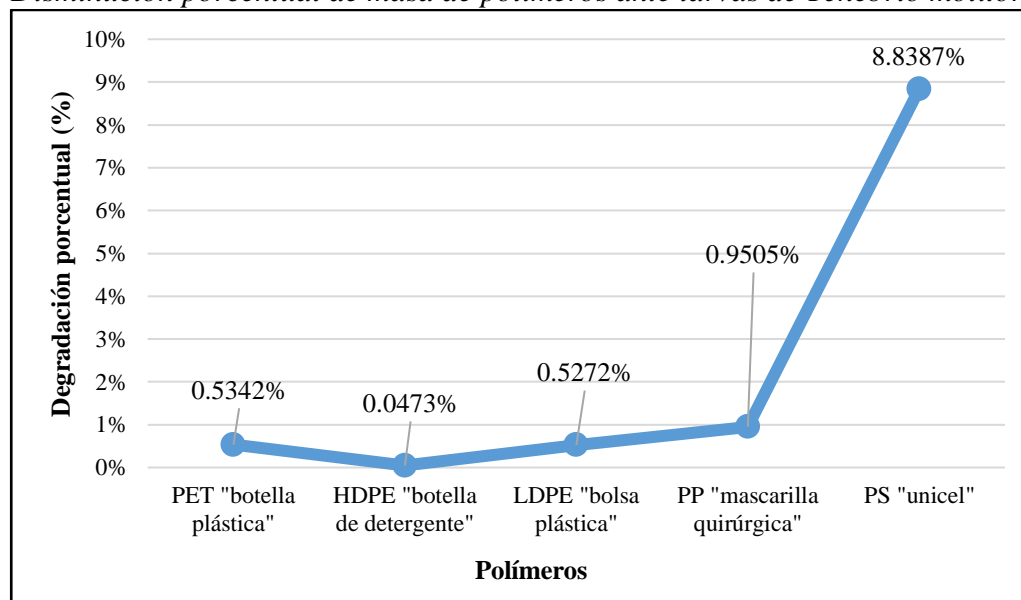
3.1. Porcentaje de degradación de los polímeros ante *Tenebrio molitor*

El trabajo de investigación fue determinar el porcentaje de biodegradación por parte de *Tenebrio molitor*, realizado durante 2 meses utilizando cinco tipos de polímeros: PET “botella plástica”, HDPE “botella de detergente”, LDPE “bolsa plástica”, PP “mascarilla quirúrgica” y PS “unicel”. Cada tratamiento tuvo cinco repeticiones y cada repetición consistió de 30 larvas de *T. molitor* alimentadas con 20 gr de plástico. El control consistió en larvas de *T. molitor* alimentadas con zanahoria y papa. A continuación, se muestran los porcentajes de degradación de cada plástico evaluado.

En la Tabla 4 y Figura 7 se observa que la tasa porcentual promedio de masa fue mayor en los polímeros PS “unicel” (8,8387%), y el PP “mascarilla quirúrgica” (0,9505%) ante la presencia de larvas *Tenebrio molitor*. No obstante, el polímero con mayor resistencia de pérdida de masa fue el HDPE, donde su masa promedio varió en solo 0,0473% ante la presencia de las larvas. En el caso de los polímeros PET y LDPE sus variaciones medias de masa estuvieron en 0,5342% y 0,5272%, respectivamente.

Tabla 4*Degradación porcentual promedio de los 5 tipos de polímeros*

Polímero	Masa promedio durante 60 días	Disminución de masa promedio	Disminución porcentual promedio
PET "botella plástica"	19,8932	0,1068	0,5342%
HDPE "botella de detergente"	19,9905	0,0095	0,0473%
LDPE "bolsa plástica"	19,8946	0,1054	0,5272%
PP "mascarilla quirúrgica"	19,8099	0,1901	0,9505%
PS "unicel"	18,2323	1,7677	8,8387%

Figura 8*Disminución porcentual de masa de polímeros ante larvas de *Tenebrio molitor*.*

3.2. Capacidad biodegradadora de *Tenebrio molitor*

Se evaluó la masa de polímeros durante los meses 1 y 2, para cada tratamiento y repetición con una masa inicial de 20 g del polímero y 30 larvas de *Tenebrio molitor*. Los resultados se sintetizan en las siguientes tablas, junto con el análisis de los datos más relevantes.

3.2.1. Consumo de masa de polímeros durante 2 meses.

En la Tabla 5 y Figura 9 se detalla el consumo de masa del PET “botella plástica” ante el consumo del *Tenebrio molitor* durante los dos meses. Para el tratamiento 1 (T1) y sus cinco repeticiones (de R1 hasta R5) se trabajó con un número inicial de 30 larvas para cada repetición. Con respecto a los 20g iniciales del polímero PET, en la repetición 3 fue en donde más consumo de masa se obtuvo con 0,1829 g, obteniendo 19,8171 g de peso final del polímero al 2° mes. Contrariamente, el menor consumo por parte de *T. molitor* se registró en la repetición 4, con 0,0265 g de consumo resultando en 19,9735 g de peso final del polímero al 2° mes.

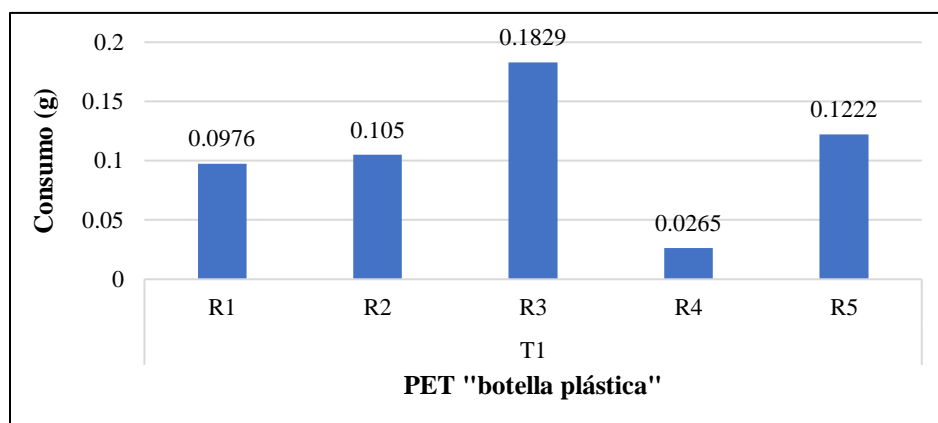
Tabla 5

Consumo de masa del polímero PET “botella plástica” durante 2 meses

Tratamiento	Repetición	Número de larvas	Tipo de polímero	Peso final al 2° mes (g)	Consumo del polímero (g)	Observación
T1	R1	30	PET " botella plástica"	19,9024	0.0976	Consumo de polímero
	R2	30	PET " botella plástica"	19,8950	0.105	Consumo de polímero
	R3	30	PET " botella plástica"	19,8171	0.1829	Consumo de polímero
	R4	30	PET " botella plástica"	19,9735	0.0265	Consumo de polímero
	R5	30	PET " botella plástica"	19,8778	0.1222	Consumo de polímero
CONTROL 1		30	Dieta a base de (zanahoria y papa)			

Figura 9

Consumo del polímero PET "botella plástica" por T. molitor al 2° mes.



En la Tabla 6 y Figura 10, se muestra el control de masa del HDPE “botella de detergente” ante el consumo del *Tenebrio molitor* durante los 2 meses de evaluación. Para el tratamiento 2 (T2) y sus cinco repeticiones (de R1 hasta R5) se trabajó con un número inicial de 30 larvas para cada repetición. Con respecto a los 20 g inicial del polímero HDPE, en la repetición 2 fue en donde más consumo de masa se obtuvo con 0,0159 g, obteniendo 19,9841 g de peso final del polímero al 2° mes. Contrariamente, el menor consumo por parte de *T. molitor* se registró en la repetición 1, con 0,0042 g de consumo resultando en 19,9841 g de peso final del polímero al 2° mes.

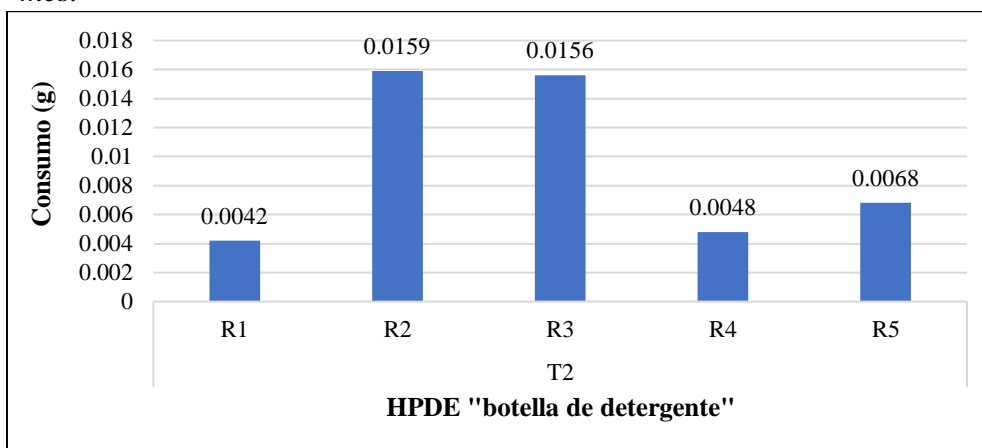
Tabla 6

Consumo de masa del polímero HDPE “botella de detergente” al 2° mes.

Tratamiento	Repetición	Número de larvas	Tipo de polímero	Peso final al 2° mes (g)	Consumo del polímero (g)	Observación
T2	R1	30	HDPE "botella de detergente"	19,9958	0.0042	Consumo de polímero
	R2	30	HDPE "botella de detergente"	19,9841	0.0159	Consumo de polímero
	R3	30	HDPE "botella de detergente"	19,9844	0.0156	Consumo de polímero
	R4	30	HDPE "botella de detergente"	19,9952	0.0048	Consumo de polímero
	R5	30	HDPE "botella de detergente"	19,9932	0.0068	Consumo de polímero
CONTROL 2		30	Dieta a base de (zanahoria y papa)			

Figura 10

Consumo del polímero HDPE “botella de detergente” por T. molitor al 2° mes.



En la Tabla 7 y Figura 11, se muestra el control de masa del LDPE “bolsa plástica” ante el consumo del *Tenebrio molitor* durante los 2 meses de evaluación. Para el tratamiento 3 (T3) y sus cinco repeticiones (de R1 hasta R5) se trabajó con un número inicial de 30 larvas para cada repetición. Con respecto a los 20 g inicial del polímero LDPE, en la repetición 4 fue en donde más consumo de masa se obtuvo con 0,2437 g, obteniendo 19,7563 g de peso final del polímero al 2° mes. Contrariamente, el menor consumo por parte de *T. molitor* se registró en la repetición 2, con 0,0147 g de consumo resultando en 19,9853 g de peso final del polímero al 2° mes.

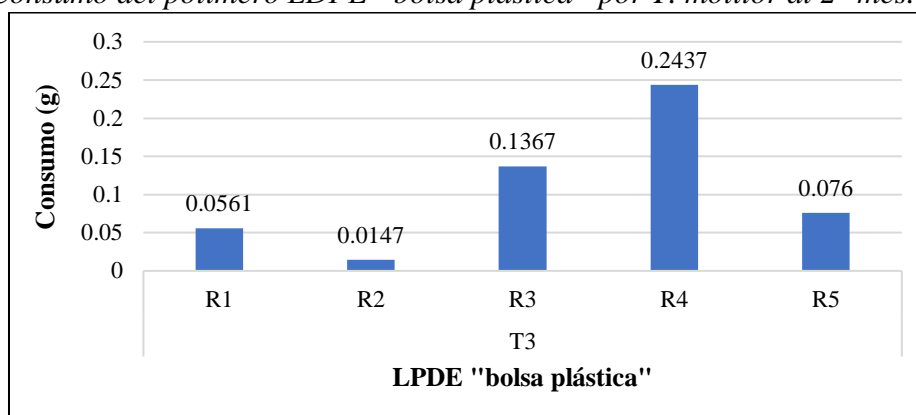
Tabla 7

Consumo de masa del polímero LDPE “bolsa plástica” al 2° mes.

Tratamiento	Repetición	Número de larvas	Tipo de polímero	Peso final al 2° mes (g)	Consumo del polímero (g)	Observación
T3	R1	30	LDPE "bolsa plástica"	19,9439	0.0561	Consumo de polímero
	R2	30	LDPE "bolsa plástica"	19,9853	0.0147	Consumo de polímero
	R3	30	LDPE "bolsa plástica"	19,8633	0.1367	Consumo de polímero
	R4	30	LDPE "bolsa plástica"	19,7563	0.2437	Consumo de polímero
	R5	30	LDPE "bolsa plástica"	19,9240	0.076	Consumo de polímero
CONTROL 3		30	Dieta a base de (zanahoria y papa)			

Figura 11

Consumo del polímero LDPE "bolsa plástica" por *T. molitor* al 2° mes.



En la Tabla 8 y Figura 12, se muestra el control de masa del PP "mascarilla quirúrgica" ante el consumo del *Tenebrio molitor* durante 2 meses de evaluación. Para el tratamiento 4 (T4) y sus cinco repeticiones (de R1 hasta R5) se trabajó con un número inicial de 30 larvas para cada repetición. Con respecto a los 20 g inicial del polímero PP, en la repetición 5 fue en donde más consumo de masa se obtuvo con 0,3991 g, obteniendo 19,6009 g de peso final del polímero al 2° mes. Contrariamente, el menor consumo por parte de *T. molitor* se registró en la repetición 2, con 0,0146 g de consumo resultando en 19,9854 g de peso final del polímero al 2° mes.

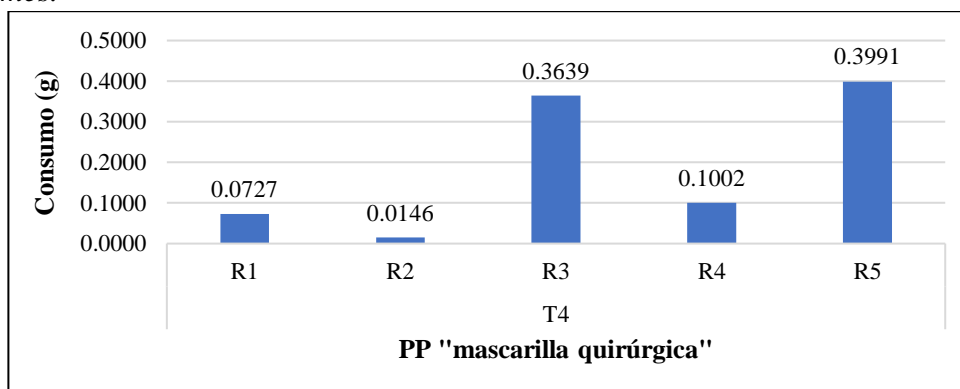
Tabla 8

Consumo de masa del polímero PP "mascarilla quirúrgica" al 2° mes.

Tratamiento	Repetición	Número de larvas	Tipo de polímero	Peso final al 2° mes (g)	Consumo del polímero (g)	Observación
T4	R1	30	PP "mascarilla quirúrgica"	19,9273	0.0727	Consumo de polímero
	R2	30	"mascarilla quirúrgica"	19,9854	0.0146	Consumo de polímero
	R3	30	"mascarilla quirúrgica"	19,6361	0.3639	Consumo de polímero
	R4	30	"mascarilla quirúrgica"	19,8998	0.1002	Consumo de polímero
	R5	30	"mascarilla quirúrgica"	19,6009	0.3991	Consumo de polímero
CONTROL 4		30	Dieta a base de (zanahoria y papa)			

Figura 12

Consumo del polímero PP "mascarilla quirúrgica" por *T. molitor* al 2° mes.



En la Tabla 9 y Figura 13, se muestra el control de masa del PS "unicel" ante el consumo del *Tenebrio molitor* durante 2 meses de evaluación. Para el tratamiento 5 (T5) y sus cinco repeticiones (de R1 hasta R5) se trabajó con un número inicial de 30 larvas para cada repetición. Con respecto a los 20 g inicial del polímero PS, en la repetición 5 fue en donde más consumo de masa se obtuvo con 4,5153 g, obteniendo 15,4847 g de peso final del polímero al 2° mes. Contrariamente, el menor consumo por parte de *T. molitor* se registró en la repetición 1, con 0,1854 g de consumo resultando en 19,8146 g de peso final del polímero al 2° mes.

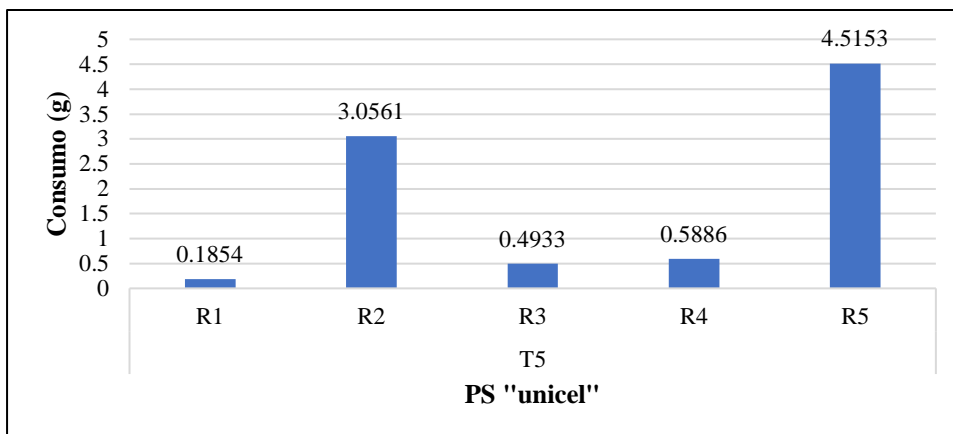
Tabla 9

Consumo de masa del polímero PS "unicel" al 2° mes.

Tratamiento	Repetición	Número de larvas	Tipo de polímero	Peso final al 2° mes (g)	Consumo del polímero (g)	Observación
T5	R1	30	PS "unicel"	19,8146	0.0727	Consumo de polímero
	R2	30	PS "unicel"	16,9439	0.0146	Consumo de polímero
	R3	30	PS "unicel"	19,5067	0.3639	Consumo de polímero
	R4	30	PS "unicel"	19,4114	0.1002	Consumo de polímero
	R5	30	PS "unicel"	15,4847	0.3991	Consumo de polímero
CONTROL 5		30	Dieta a base de (zanahoria y papa)			

Figura 13

Consumo del polímero PS "unicel" por T. molitor al 2° mes.



3.2.2. Análisis estadístico de la capacidad biodegradadora de T. molitor.

En la tabla 10, se puede observar que el PET plástico durante el primer mes expuesto a las larvas *Tenebrio molitor* solo presentó una disminución de peso de 0,065 gr con respecto a los 20 gr de su peso normal, esta diferencia no resultó ser estadísticamente significativa $t(4) = -2,319$; $p = 0,081$ y IC95% [0,012 – 0,143]. En lo que respecta al segundo mes de observación, se pudo evidenciar una disminución promedio de su peso inicial de 0,106g la cual, fue significativa $t(4) = -4,263$; $p = 0,013$ y IC95% [0,037 – 0,176].

Tabla 10

Prueba para el polímero PET “Botella plástica”

Prueba para una muestra							
						95% de intervalo de confianza	
	Media	Desviación	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Inferior Superior
Pesomes1	19,93	0,06	-2,319	4	0,081	0,0654600	0,012901 0,143821
Pesomes2	19,89	0,05	-4,263	4	0,013	0,1068400	0,037250 0,176430

Nota: Valor de prueba = 20

Se detalla en la tabla 11 al polímero HDPE, este al estar expuesto a las larvas *Tenebrio molitor* se presentó durante el primer mes de observación una disminución promedio de su peso de 0,005g, lo cual no representó una variación significativa $t(4) = -1,940$; $p = 0,124$ y IC95% [0,002 - 0,014]. En cuanto al segundo mes de observación, se registró una disminución del polímero de 0,009g, esta variación, según la prueba estadística, fue significativa $t(4) = -3,633$; $p = 0,022$ y IC95% [0,002 - 0,016].

Tabla 11

Prueba para el polímero HDPE “Botella de detergente”

Prueba para una muestra							
						95% de intervalo	
	Media	Desviación	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	de confianza
						Inferior	Superior
Pesomes1	19,99	0,01	-1,940	4	0,124	0,0058000	0,002499 0,014099
Pesomes2	19,90	0,01	-3,633	4	0,022	0,0094600	0,002230 0,016690

Nota: Valor de prueba = 20

En la tabla 12, relacionado a la exposición del polímero LDPE al *Tenebrio molitor*, se pudo registrar una disminución promedio durante el primer mes de observación de 0,062g lo cual no resultó ser importante estadísticamente $t(4) = -2,040$, $p = 0,111$ y IC95% [0,022 - 0,147]. Al realizar una segunda observación para el mes 2, igualmente se observó una disminución no significativa de 0,105g; $t(4) = -2,651$; $p = 0,057$ y IC95% [0,004 - 0,215].

Tabla 12

Prueba para el polímero LDPE “Bolsa plástica”

Prueba para una muestra							
						95% de intervalo	
	Media	Desviación	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	de confianza
						Inferior	Superior
Pesomes1	19,93	0,07	-2,040	4	0,111	0,0626800	0,022633 0,147993
Pesomes2	19,89	0,08	-2,651	4	0,057	0,1054400	0,004970 0,215850

Nota: Valor de prueba = 20

Sig: significancia.

Para la tabla 13, con respecto a la exposición del *Tenebrio molitor* al polímero PP, se pudo determinar al primer mes de observación una disminución promedio de 0,160g, que para la prueba estadística aplicada no resultó ser significativa $t(4) = -1,969$; $p = 0,120$ y IC95% [0,065 - 0,385]. Igualmente, para el segundo mes de observación se pudo identificar que la variación presentada del polímero con respecto a su peso inicial fue en promedio de 0,190g lo cual, para la prueba aplicada resultó no significativa $t(4) = -2,390$; $p = 0,075$ y IC95% [0,030 - 0,41].

Tabla 13

Prueba para el polímero PP “Mascarilla quirúrgica”

		Prueba para una muestra				95% de intervalo		
					Sig.	Diferencia	de confianza	
	Media	Desviación	t	gl	(bilateral)	de medias	Inferior	Superior
Pesomes1	19,83	0,18	-1,969	4	0,120	0,1601000	0,065608	0,385808
Pesomes2	19,80	0,17	-2,390	4	0,075	0,1901000	0,030756	0,410956

Nota: Valor de prueba = 20

Sig: significancia.

En cuanto al polímero PS, este al estar expuesto al *Tenebrio molitor* presentó una disminución promedio en el primer mes de observación de 0,596g que aunque en términos generales fue mayor a los casos anteriores no resultó ser significativa para la prueba aplicada $t(4) = -1,730$; $p = 0,159$ y IC95% [0,360 - 1,554]. En el segundo mes de observación, si bien se presentó una disminución promedio de 1,767g, esta no fue significativa para la prueba aplicada dando una desviación estándar superior a 1, lo cual indica datos dispersos a la media que provocaron esta variación $t(4) = -2,060$; $p = 0,108$ y IC95% [0,614 - 4,150] (Tabla 14).

Tabla 14*Prueba para el polímero PS "Unicel"*

Prueba para una muestra							
						95% de intervalo	
				Sig.		Diferencia de confianza	
	Media	Desviación	t	gl	(bilateral)	de medias	Inferior Superior
Pesomes1	19,40	0,77	-1,730	4	0,159	0,5969800	0,360832 1,554792
Pesomes2	18,23	1,91	-2,060	4	0,108	1,7677400	,614777 4,150257

Nota: Valor de prueba = 20

En la tabla 15, se muestra la prueba de normalidad mediante el test Shapiro-Wilk ($n < 50$) se puede observar que tanto el peso registrado de los polímeros en el mes 1 como el registrado en el mes 2 presentan una distribución normal ($p > 0,05$).

Tabla 15*Prueba de normalidad para los 2 meses de los cinco tipos de polímeros*

	Polímero	Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
Peso mes 1	PET "botella plástica"	0,872	5	0,276
	HDPE "botella de detergente"	0,782	5	0,057
	LDPE "bolsa plástica"	0,773	5	0,058
	PP "mascarilla quirúrgica"	0,785	5	0,061
	PS "unicel"	0,647	5	0,052
Peso mes 2	PET "botella plástica"	0,961	5	0,815
	HDPE "botella de detergente"	0,795	5	0,074
	LDPE "bolsa plástica"	0,932	5	0,608
	PP "mascarilla quirúrgica"	0,839	5	0,162
	PS "unicel"	0,830	5	0,139

Se puede observar que la distribución de las variables peso 1 y peso 2 para los polímeros considerados en el análisis no presenta homocedasticidad ($p > 0,05$) (Tabla 16).

Tabla 16

Prueba de homogeneidad de varianzas (homocedasticidad) para los dos meses.

Pruebas de homogeneidad de varianzas					
		Estadístico			
		de Levene	gl1	gl2	Sig.
Pesomes1	Basada en la media	5,631	4	20	0,003
Pesomes2	Basada en la media	28,063	4	20	0,000

Sig: significancia.

Dado el cumplimiento de tan solo un supuesto del Anova, se aplicó el análisis de ANOVA de Welch el cual se lleva a cabo cuando hay normalidad, pero no homocedasticidad de los datos.

La tabla 17, detalla los resultados obtenidos a partir del ANOVA de Welch, se pudo observar que existe evidencia estadística para concluir que los polímeros considerados en el análisis durante el primer mes no presentaron diferencias significativas entre ellos en lo relacionado al peso ANOVA de Welch ($4;8,086$) = 2,846 y $p = 0,096$. En cuanto a los resultados obtenidos para el segundo mes de observación se pudo determinar una variación significativa del peso de los polímeros comparados en el ANOVA de Welch ($4;8,063$) = 5,983 y $p = 0,016$.

Tabla 17

ANOVA de Welch para los dos meses.

Pruebas robustas de igualdad de medias					
		Estadístico ^a	gl1	gl2	Sig.
Peso mes 1	Welch	2,846	4	8,086	0,096
Peso mes 2	Welch	5,983	4	8,063	0,016

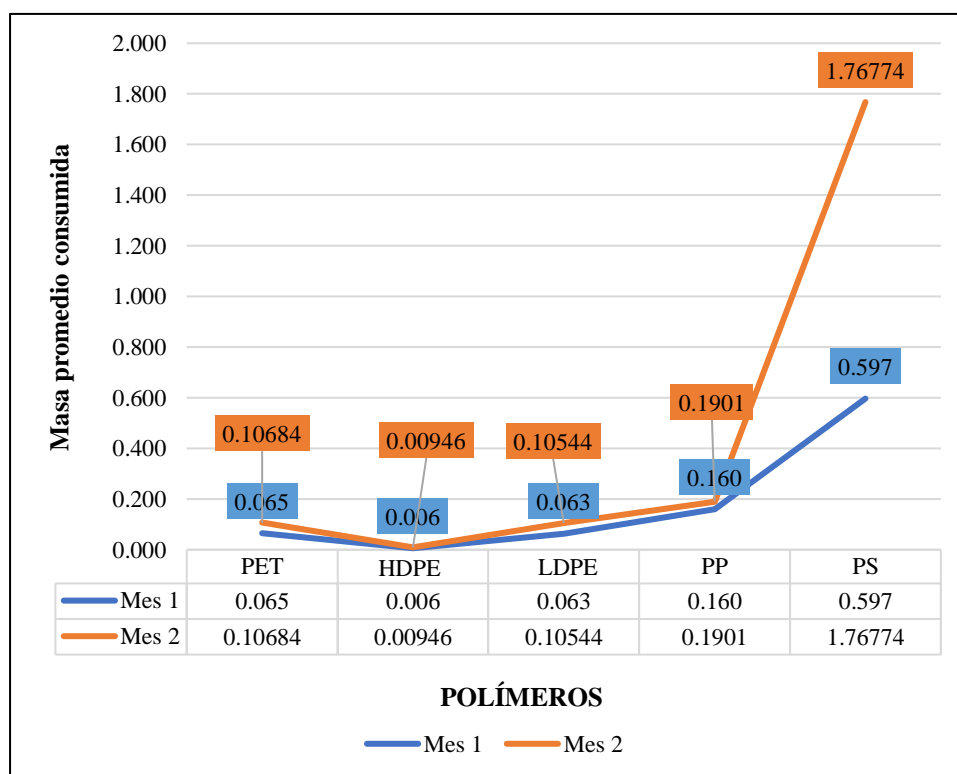
a. F distribuida de forma asintótica

Sig: significancia.

En la figura 14 de medias se puede observar que, si bien existe una diferencia entre los polímeros PP y PS, es una diferencia marcada que fue tomada por la prueba como no significativa $\Delta=0,44\text{g}$ y $p= 0,738$. No obstante, para el mes de observación 2, se presentó una diferencia significativa entre los polímeros PET y HDPE $\Delta=0,10\text{g}$ y $p= 0,007$, son diferencias tomadas a partir de la distribución no sesgada de los datos.

Figura 14

Masa promedio consumida de los polímeros en los dos meses ante Tenebrio molitor.



3.3. Efecto en la alimentación con polímero para *Tenebrio molitor*

En el siguiente objetivo del trabajo se detalla la tasa de supervivencia en la alimentación de *Tenebrio molitor* con plásticos. Para ello se evaluó durante 2 meses con los cinco tipos de polímeros: PET “botella plástica”, HDPE “botella de detergente”, LDPE “bolsa plástica”, PP “mascarilla quirúrgica” y PS “unicel”. Cada tratamiento tuvo cinco repeticiones, siendo comparados con el control que fue alimentada a base de zanahoria y papa. A continuación, se muestran las tasas de supervivencia de las larvas expuestas a los polímeros.

3.3.1. Tasa de supervivencia de *Tenebrio molitor* para el mes 2

En la Tabla 18 y Figura 15, se observa la tasa de supervivencia de *Tenebrio molitor* ante 2 meses de alimentación a base de PET “botella plástica”, siendo está el tratamiento 1 con sus respectivas 5 repeticiones. Los resultados muestran que la mejor repetición fue T1:R2 con 3 larvas vivas; y la que se mostró con menor tasa de supervivencia fue el T1:R1 donde todas las larvas estaban muertas. El control presentó una tasa de supervivencia de 12 larvas vivas.

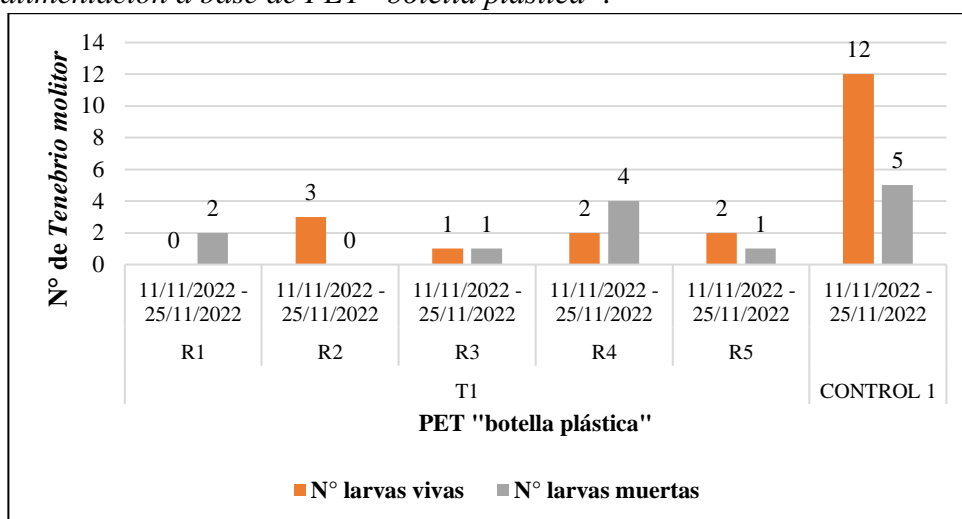
Tabla 18

Tasa de supervivencia de Tenebrio molitor durante 2 meses de alimentación a base de PET “botella plástica”.

Tratamiento	Repetición	Fecha	Tiempo (días)	Nº <i>T. molitor</i> vivas	Nº <i>T. molitor</i> muertas	Cambio de fase	Observación
T1	R1	11/11/2022	60	0	2	ninguna	murieron con el tiempo
		25/11/2022					
	R2	11/11/2022	60	3	0	3 larvas	normal
		25/11/2022					
	R3	11/11/2022	60	1	1	1 larva	murieron con el tiempo
		25/11/2022					
	R4	11/11/2022	60	2	4	2 larvas	canibalismo
		25/11/2022					
	R5	11/11/2022	60	2	1	2 larvas	canibalismo
		25/11/2022					
CONTROL 1		11/11/2022	60	12	5	12 <i>T. molitor</i> adultos	murieron con el tiempo
		25/11/2022					

Figura 15

Tasa de supervivencia de Tenebrio molitor durante 2 meses con una alimentación a base de PET “botella plástica”.



En la Tabla 19 y Figura 16, se observa la tasa de supervivencia de *Tenebrio molitor* durante 2 meses a base de HDPE “botella de detergente”, siendo esta el tratamiento 2 con sus respectivas 5 repeticiones. Los resultados muestran que la mejor repetición fue T2:R5 con 8 larvas vivas; y la que se mostró con menos tasa de supervivencia fue el T1:R3 con 1 larva viva, a comparación del control con a una tasa de supervivencia de 10 larvas vivas.

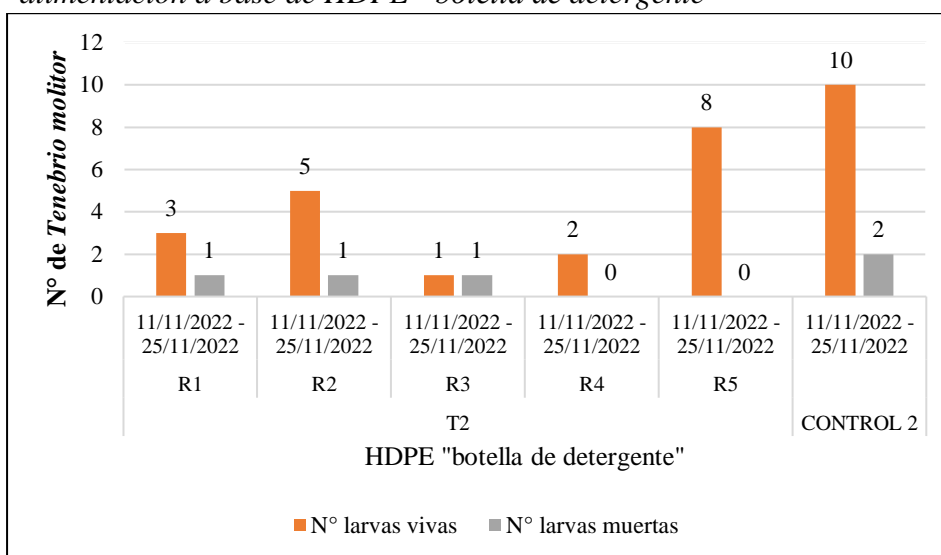
Tabla 19

Tasa de supervivencia de Tenebrio molitor durante 2 meses de alimentación a base de HDPE “botella de detergente”.

Tratamiento	Repetición	Fecha	Tiempo (días)	N° <i>T. molitor</i> vivas	N° <i>T. molitor</i> muertas	Cambio de fase	Observación
T2	R1	11/11/2022 - 25/11/2022	60	3	1	Larvas 2 y adulto 1	canibalismo
	R2	11/11/2022 - 25/11/2022	60	5	1	5 larvas	normal
	R3	11/11/2022 - 25/11/2022	60	1	1	Larva 1	canibalismo
	R4	11/11/2022 - 25/11/2022	60	2	0	Larvas 2	canibalismo
	R5	11/11/2022 - 25/11/2022	60	8	0	Larvas 8	canibalismo
CONTROL 2		11/11/2022 - 25/11/2022	60	10	2	<i>T. molitor</i> adulto 9 y 1 larva	normal

Figura 16

Tasa de supervivencia de Tenebrio molitor durante 2 meses con una alimentación a base de HDPE “botella de detergente”



En la Tabla 20 y Figura 17, se observa la tasa de supervivencia de *Tenebrio molitor* durante 2 meses de alimentación con el polímero LDPE “bolsa”, siendo esta el tratamiento 3 con sus respectivas 5 repeticiones. Los resultados muestran que la mejor repetición fue T3:R1 con 3 larvas vivas; y la que se mostró con menor tasa de supervivencia fue el T3:R3 con 1 larva viva. El control tuvo una tasa de supervivencia de 12 *T. molitor* adultos vivos.

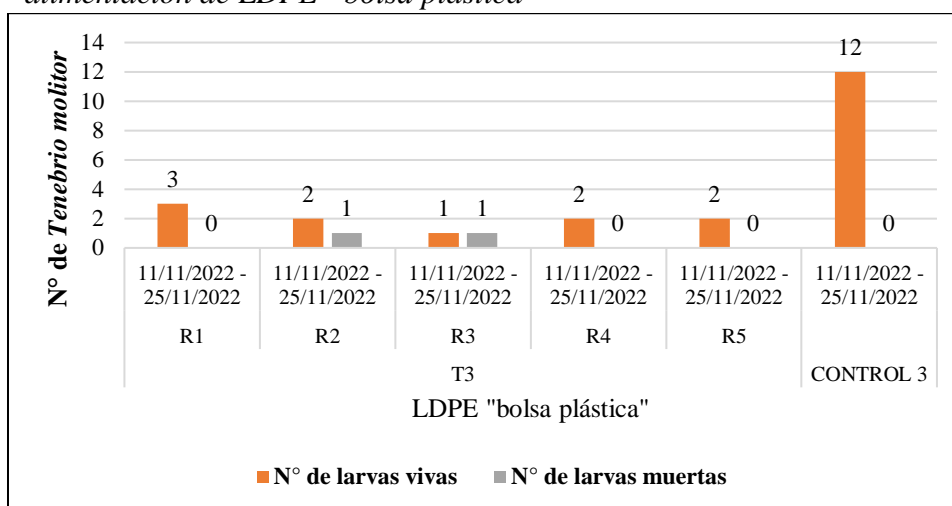
Tabla 20

Tasa de supervivencia de Tenebrio molitor durante 2 meses de alimentación a base de LDPE “bolsa plástica”.

Tratamiento	Repetición	Fecha	Tiempo (días)	N° <i>T. molitor</i> vivas	N° <i>T. molitor</i> muertas	Cambio de fase	Observación
T3	R1	11/11/2022 - 25/11/2022	60	3	0	Larvas 3	canibalismo
	R2	11/11/2022 - 25/11/2022	60	2	1	Larvas 2	canibalismo
	R3	11/11/2022 - 25/11/2022	60	1	1	Larva 1	normal
	R4	11/11/2022 - 25/11/2022	60	2	0	1 larva y 1 adulto	canibalismo
	R5	11/11/2022 - 25/11/2022	60	2	0	Larvas 2	normal
CONTROL 3		11/11/2022 - 25/11/2022	60	12	0	12 <i>T. molitor</i> adulto	canibalismo

Figura 17

Tasa de supervivencia de Tenebrio molitor durante 2 meses a base de una alimentación de LDPE “bolsa plástica”



En la Tabla 21 y Figura 18, se observa la tasa de supervivencia de *Tenebrio molitor* durante 2 meses de alimentación con el polímero PP “mascarilla quirúrgica”, siendo esta el tratamiento 4 con sus respectivas 5 repeticiones. Los resultados muestran que la mejor repetición fue T4:R2 con 11 larvas vivas; y la que se mostró con menos tasa de supervivencia fue el T4:R3 con 3 *T. molitor* adultos vivos. El control tuvo una tasa de supervivencia de 14 *T. molitor* adultos vivos.

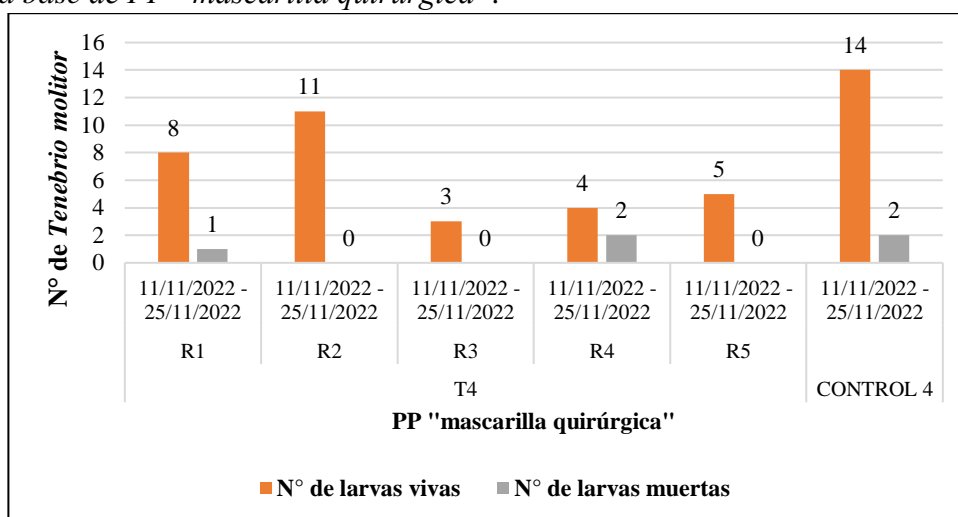
Tabla 21

Tasa de supervivencia de Tenebrio molitor durante 2 meses de alimentación a base de PP “mascarilla quirúrgica”.

Tratamiento	Repetición	Fecha	Tiempo (días)	N° <i>T. molitor</i> vivas	N° <i>T. molitor</i> muertas	Cambio de fase	Observación
T4	R1	11/11/2022 - 25/11/2022	60	8	1	Larvas 8	canibalismo
	R2	11/11/2022 - 25/11/2022	60	11	0	Larvas 11	canibalismo
	R3	11/11/2022 - 25/11/2022	60	3	0	3 <i>T. molitor</i> adultos	canibalismo
	R4	11/11/2022 - 25/11/2022	60	4	2	1 adulto y 3 larvas	canibalismo
	R5	11/11/2022 - 25/11/2022	60	5	0	5 larvas	canibalismo
CONTROL 4		11/11/2022 - 25/11/2022	60	14	2	14 <i>T. molitor</i> adultos	canibalismo

Figura 18

Tasa de supervivencia de Tenebrio molitor durante 2 meses de alimentación a base de PP “mascarilla quirúrgica”.



En la Tabla 22 y Figura 19, se observa la tasa de supervivencia de *Tenebrio molitor* durante 2 meses de alimentación con el polímero PS “unicel”, siendo este el tratamiento 5 con sus respectivas 5 repeticiones. Los resultados muestran que la mejor repetición fue T5:R2 con 10 larvas vivas; mientras que T5:R4 se mostró con menos tasa de supervivencia con 7 larvas vivas. El control 5 tuvo una tasa de supervivencia de 15 *T. molitor* adultos vivos.

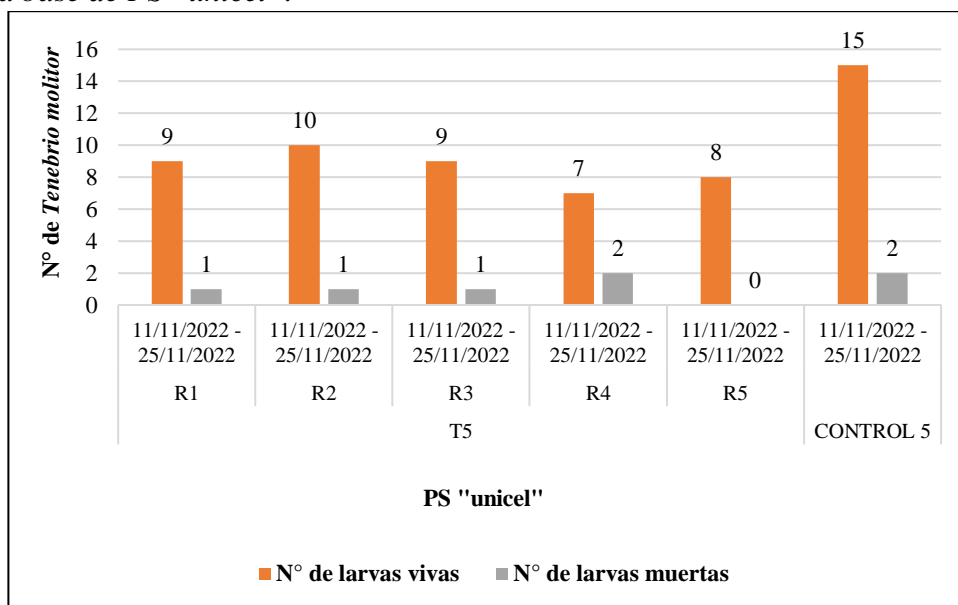
Tabla 22

Tasa de supervivencia de Tenebrio molitor durante 2 meses de alimentación a base de PS “unicel”.

Tratamiento	Repetición	Fecha	Tiempo (días)	Nº <i>T. molitor</i> vivas	Nº <i>T. molitor</i> muertas	Cambio de fase	Observación
T5	R1	11/11/2022 - 25/11/2045	60	9	1	1 <i>T. molitor</i> adulto y 8 larvas	normal
	R2	11/11/2022 - 25/11/2046	60	10	1	Larvas 10	canibalismo
	R3	11/11/2022 - 25/11/2047	60	9	1	Larvas 9	normal
	R4	11/11/2022 - 25/11/2048	60	7	2	Larvas 7	normal
	R5	11/11/2022 - 25/11/2049	60	8	0	Larvas 8	canibalismo
CONTROL 5		11/11/2022 - 25/11/2050	60	15	2	<i>T. molitor</i> adultos 15	normal

Figura 19

Tasa de supervivencia de Tenebrio molitor durante 2 meses de alimentación a base de PS "unicel".



En la Tabla 23, Figura 20 y Figura 21 se detalla el canibalismo promedio de *T. molitor* durante 2 meses con la alimentación de los polímeros evaluados. El mayor número de canibalismo registrado fue para el polímero PET “botella plástica” con 16 larvas muertas, mientras que el menor canibalismo se registró en el polímero PS “unicel” con 6 larvas muertas; teniendo en cuenta que el inicial fue de 30 larvas para cada tratamiento y repetición. En la figura 20 se observa el canibalismo porcentual para los 5 tipos de polímeros, la cual se registró con mayor canibalismo para el PET con 53,3% siendo mayor a la mitad de la muestra inicial, seguido de HDPE con 50%, en LDPE se obtuvo un 43,3%, mientras que para PP se registró 33,3%, por último, el PS presentó 20% de canibalismo.

Tabla 23

Mortalidad promedio por canibalismo de los 5 polímeros en 2 meses de consumo.

CANIBALISMO PROMEDIO						
POLÍMEROS	15 (Días)	30 (Días)	45 (Días)	60 (Días)	TOTAL	CANIBALISMO (%)
PET "botella plástica"	7	7	1	1	16	53,3
HDPE "botella de detergente"	9	2	2	2	15	50,0
LDPE "bolsa común"	4	5	3	1	13	43,3
PP "mascarilla quirúrgica"	3	3	2	2	10	33,3
PS "unicel"	1	3	2	0	6	20,0

Figura 20

Canibalismo promedio en relación a los 2 meses de consumo de T. molitor

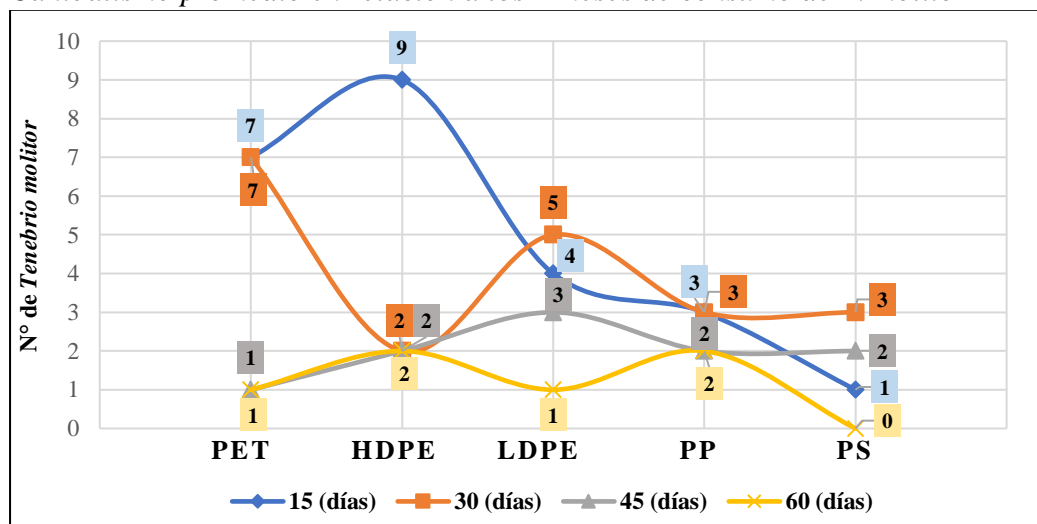
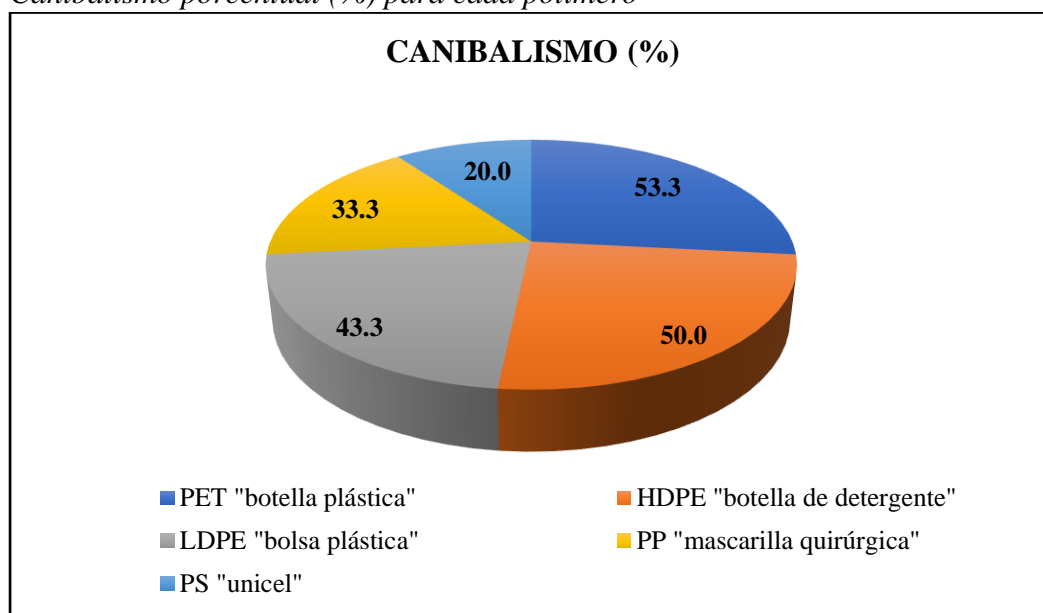


Figura 21

Canibalismo porcentual (%) para cada polímero



3.3.2. Análisis de supervivencia de las larvas de *Tenebrio molitor*

De igual manera, se realizó un análisis a la supervivencia de las larvas de *T. molitor* para los periodos de 15, 30, 45 y 60 días expuestos a cada tipo de polímero, donde en algunos casos se observó eventos de canibalismo entre ellas, por lo cual, la cantidad entre un periodo de tiempo y otro variaron. Para lo anterior, se utilizó la prueba t-student para muestras dependientes.

Al analizar la supervivencia de las larvas de *T. molitor* ante la exposición al PET entre los primeros 15 días y los 30 días, se puede evidenciar una disminución promedio de 15 larvas vivas con respecto al día 15, tal disminución es significativa $t(4)=6,946, p=0,002$ IC95% [8,884-20,716]. En cuanto a las larvas muertas no hubo diferencia alguna entre el día 15 y el día 30. A partir de lo anterior, se observó que las larvas faltantes se debieron al canibalismo entre ellas (Tabla 24).

Tabla 24

Muestras emparejadas entre larvas vivas y muertas durante 15 y 30 días para PET.

Prueba de muestras emparejadas										
Diferencias emparejadas										
	Media	Diferencia		Desviación estándar	Media de error estándar	95% de intervalo de confianza		t	gl	Sig. (bilateral)
		Media	Media			Inferior	Superior			
Larvas vivas 15	23,00									
Larvas vivas 30	8,20	14,800	4,764	2,131	8,884	20,716	6,946	4	0,002	
Larvas muertas 15	7,00	0,000	5,568	2,490	-6,913	6,913	0,000	4	1,000	
Larvas muertas 30	7,00									

Al revisar la cantidad de larvas de *T. molitor* entre los días 30 y 45, se pudo observar una disminución promedio de 5 larvas vivas entre los periodos señalados tal disminución fue significativa $t(4)=6,532$; $p=0,003$ y IC95% [2,760 - 6,840]. En cuanto a las larvas muertas entre los días 30 y 45, se pudo establecer una diferencia de 3 larvas que no resultó significativa para la prueba $t(4)=1,604$; $p=0,184$ y IC95% [2,194 - 8,194] (Tabla 25).

Tabla 25

Muestras emparejadas entre larvas vivas y muertas durante 30 y 45 días para PET.

Prueba de muestras emparejadas										
Diferencias emparejadas										
	Media	Diferencia		Desviación estándar	Media de error estándar	95% de intervalo de confianza		t	gl	Sig. (bilateral)
		Media	Media			Inferior	Superior			
Larvas vivas 30	8,20									
Larvas vivas 45	3,40	4,800	1,643	0,735	2,760	6,840	6,532	4	0,003	
Larvas muertas 30	7,00	3,000	4,183	1,871	2,194	8,194	1,604	4	0,184	
Larvas muertas 45	4,00									

En cuanto a la cantidad de larvas de *T. molitor* entre los días 45 y 60, se pudo observar una disminución promedio de 2 larvas vivas entre los periodos señalados tal disminución no fue significativa $t(4)=2,714$; $p=,053$ y IC95% [0,042 - 3,642]. En cuanto a las larvas muertas entre los días 45 y 60, se pudo establecer una diferencia de 2 larvas que no resultó significativa para la prueba $t(4)=1,863$; $p=,136$ y IC95% [1,177 - 5,977] (Tabla 26).

Tabla 26

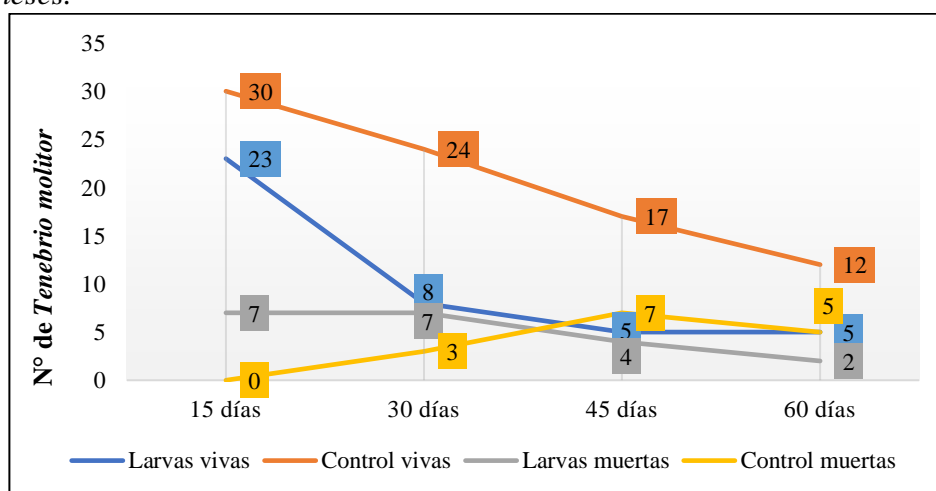
Muestras emparejadas entre larvas vivas y muertas durante 45 y 60 días para PET.

Prueba de muestras emparejadas									
Diferencias emparejadas									
	Diferencia		Desviación estándar	Media de error estándar	95% de intervalo de confianza		t	gl	Sig. (bilateral)
	Media	Media			Inferior	Superior			
Larvas vivas 45									
Larvas vivas 45	3,40	1,800	1,483	0,663	-0,042	3,642	2,714	4	0,053
Larvas vivas 60									
Larvas muertas 45									
Larvas muertas 45	4,00	2,400	2,881	1,288	-1,177	5,977	1,863	4	0,136
Larvas muertas 60									

La figura 22 de medias para la supervivencia de las larvas de *Tenebrio molitor* ante el PET permite observar una mayor tasa de variación de larvas vivas entre los días 15 y 30, la cual puede deberse al canibalismo observado en este tiempo. Así mismo, se observa una mayor variación negativa entre los días 30 y 45 de las larvas en control vivas, y en ese mismo lapso se observa una correspondencia entre las larvas muertas con tendencia al alza.

Figura 22

Tasa de supervivencia de las larvas ante PET “Botella plástica” durante 2 meses.



Al observar el comportamiento de las larvas de *T. molitor* ante el polímero HDPE entre los días 15 y 30, se pudo observar una disminución promedio de 7 larvas vivas entre los periodos señalados tal disminución fue significativa $t(4)=3,837$; $p=0,018$ y IC95% [1,880 - 11,720]. En cuanto a las larvas muertas entre los días 15 y 30, se pudo establecer una diferencia de 7 larvas que igualmente resultó significativa para la prueba $t(4)=3,689$; $p=0,021$ y IC95% [1,732 - 12,268] (Tabla 27).

Tabla 27

*Muestras emparejadas entre larvas de *T. molitor* vivas y muertas durante 15 y 30 días para HDPE.*

Prueba de muestras emparejadas									
Diferencias emparejadas									
		Diferencia		Desviación estándar	Media de error estándar	95% de intervalo de confianza		t	Sig. (bilateral)
Media	Media	Inferior	Superior						
Larvas vivas									
15 Larvas	20,40	6,800	3,962	1,772	1,880	11,720	3,837	4	0,018
vivas 30	13,60								
Larvas muertas									
15 Larvas	9,60	7,000	4,243	1,897	1,732	12,268	3,689	4	0,021
Larvas muertas 30	2,60								

Al revisar los resultados comparativos de las larvas de *T. molitor* expuestas a HDPE entre el día 30 y el día 45, se pudo observar una disminución promedio de 8 larvas vivas entre los periodos señalados resultando esta disminución significativa $t(4)=14,606$; $p=0,000$ y IC95% [6,479 - 9,521]. En cuanto a las larvas muertas entre los días mencionados, se pudo establecer una diferencia de 2 larvas que no resultó significativa para la prueba $t(4)=-,825$, $p=0,456$ y IC95% [5,676 - 10,476] (Tabla 28).

Tabla 28

Muestras emparejadas entre larvas de T. molitor vivas y muertas durante 30 y 45 días para HDPE.

Prueba de muestras emparejadas										
Diferencias emparejadas										
		Diferencia		Desviación		Media de error		95% de intervalo de confianza		Sig. (bilateral)
Media	Media	estándar	estándar	Inferior	Superior	t	gl			
Larvas vivas 30										
13,60	8,000	1,225	,548	6,479	9,521	14,606	4	0,000		
Larvas vivas 45										
Larvas muertas 30										
2,60	2,400	6,504	2,909	-5,676	10,476	-0,825	4	0,456		
Larvas muertas 45										

Al llevar la comparación del número de larvas vivas expuestas al PP entre el día 45 y el día 60, se pudo observar una disminución promedio de 2 larvas vivas entre los periodos señalados resultando esta disminución no significativa $t(4)=4,811$; $p=0,059$ y IC95% [0,761 - 2,839]. En cuanto a las larvas muertas entre los días mencionados, se pudo establecer una diferencia de 4 larvas que resultó significativa para la prueba $t(4)=4,085$; $p=0,015$ y IC95% [1,410 - 7,390] (Tabla 29).

Tabla 29

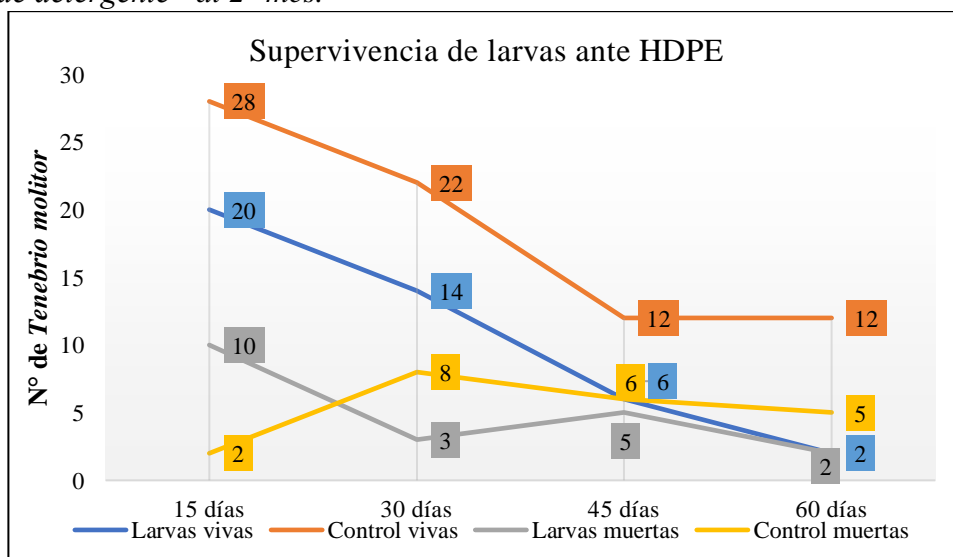
Muestras emparejadas entre larvas de T. molitor vivas y muertas durante 45 y 60 días para HDPE.

Prueba de muestras emparejadas									
Diferencias emparejadas									
95% de intervalo									
Media de de confianza de la									
diferencia									
Diferencia		Desviación	error	diferencia		t	gl	Sig.	
Media	Media	estándar	estándar	Inferior	Superior			(bilateral)	
Larvas vivas 45									
Larvas vivas 60	5,60	1,800	0,837	0,374	0,761	2,839	4,811	4	0,059
	3,80								
Larvas muertas									
45	5,00								
Larvas muertas 60	0,60	4,400	2,408	1,077	1,410	7,390	4,085	4	0,015

La figura 23 de medias para la supervivencia de las larvas *T. molitor* ante el PET permite observar una mayor tasa de variación de larvas vivas entre los días 30 y 45, la cual puede deberse al canibalismo observado en este tiempo. Así mismo, se observa una mayor variación negativa entre los días anteriormente señalados de las larvas en control vivas, en ese mismo lapso de tiempo se observa una correspondencia entre las larvas muertas con un comportamiento al alza, pero menos pronunciado.

Figura 23

Tasa de supervivencia de las larvas de T. molitor durante HDPE “Botella de detergente” al 2° mes.



Al observar el comportamiento de las larvas de *Tenebrio molitor* ante el polímero LDPE entre los días 15 y 30, se pudo observar una disminución promedio de 16 larvas vivas entre los periodos señalados tal disminución fue significativa $t(4)=11,759$; $p=0,000$ y IC95% [11,917 - 19,283]. En cuanto a las larvas muertas entre los días 15 y 30, se pudo establecer una diferencia de 1 larva que no resultó significativa para la prueba $t(4)= -0,689$; $p=0,553$ y IC95% [1,975 - 3,175] (Tabla 30).

Tabla 30

Muestras emparejadas entre larvas de T. molitor vivas y muertas durante 15 y 30 días para LDPE.

Prueba de muestras emparejadas									
Diferencias emparejadas									
		Diferencia		Desviación estándar	Media estándar	95% de intervalo de confianza		t	Sig. gl (bilateral)
Media	Media	Inferior	Superior						
Larvas vivas 15									
Larvas vivas 30	25,40	15,600	2,966	1,327	11,917	19,283	11,759	4	0,000
	9,80								
Larvas muertas									
15	4,60								
Larvas muertas 30	5,20	0,600	2,074	0,927	1,1975	3,175	-0,647	4	0,553

El comportamiento de las larvas de *Tenebrio molitor* ante el polímero LDPE entre los días 30 y 45, permitió observar una disminución promedio de 7 larvas vivas entre los periodos señalados, tal disminución fue significativa $t(4)=4,839$; $p=0,008$ y IC95% [2,813 - 10,387]. En cuanto a las larvas muertas entre los días 30 y 45, se pudo establecer una diferencia de 1 larva que no resultó significativa para la prueba $t(4)=0,659$; $p=0,546$ y IC95% [3,211 - 5,211] (Tabla 31).

Tabla 31

Muestras emparejadas entre larvas de T. molitor vivas y muertas durante 30 y 45 días para LDPE.

Prueba de muestras emparejadas									
Diferencias emparejadas									
	Media	Diferencia Media	Desviación estándar	Media de error estándar	95% de intervalo de confianza		t	gl	Sig. (bilateral)
					Inferior	Superior			
Larvas vivas									
30	9,80	6,600	3,050	1,364	2,813	10,387	4,839	4	0,008
Larvas vivas	3,20								
45									
Larvas									
muertas 30	5,20	1,000	3,391	1,517	3,211	5,211	0,659	4	0,546
Larvas	4,20								
muertas 45									

El comportamiento de las larvas de *Tenebrio molitor* ante el polímero LDPE entre los días 45 y 60, permitió observar una disminución promedio de 1 larva viva entre los periodos señalados, tal disminución no fue significativa $t(4)=6,000$; $p=,054$ y $IC95\% [0,645 - 1,755]$. En cuanto a las larvas muertas entre los días 45 y 60, se pudo establecer una diferencia de 4 larvas que resultó significativo para la prueba $t(4)=6,517$; $p=0,003$ y $IC95\% [2,181 - 6,517]$ (Tabla 32).

Tabla 32

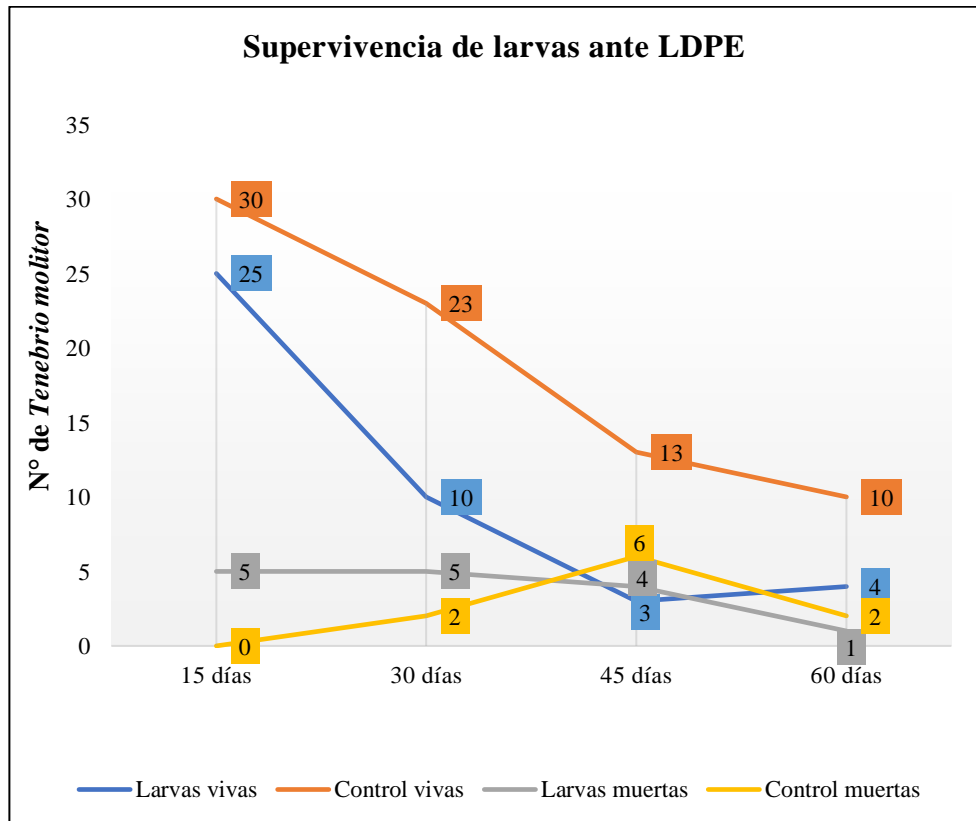
Muestras emparejadas entre larvas de T. molitor vivas y muertas durante 45 y 60 días para LDPE.

Prueba de muestras emparejadas									
Diferencias emparejadas									
	Diferencia		Desviación estándar	Media de error estándar	95% de intervalo de confianza		t	gl	Sig. (bilateral)
	Media	Media			Inferior	Superior			
Larvas vivas 45									
	3,20	1,200	0,447	0,200	0,645	1,755	6,000	4	0,054
Larvas vivas 60									
Larvas muertas 45									
	4,20	3,800	1,304	0,583	2,181	5,419	6,517	4	0,003
Larvas muertas 60									

La figura 24 de medias para la supervivencia de las larvas de *Tenebrio molitor* ante el LDPE permite observar una mayor tasa de variación de larvas vivas entre los días 15 y 30, la cual puede deberse al canibalismo observado en este tiempo. Así mismo, se observa una mayor variación negativa entre los días 30 y 45 de las larvas en control vivas, y en ese mismo lapso de tiempo se observa una correspondencia entre las larvas de control muertas con un comportamiento al alza.

Figura 24

Tasa de supervivencia de las larvas de T. molitor durante LDPE “Bolsa común” al 2° mes.



Al observar el comportamiento de las de larvas de *T. molitor* ante el polímero PP entre los días 15 y 30, se pudo observar una disminución promedio de 10 larvas vivas entre los periodos señalados tal disminución fue significativa $t(4)=5,088$; $p=0,007$ y IC95% [4,361 - 14,839]. En cuanto a las larvas muertas entre los días 15 y 30, se pudo establecer una diferencia de 7 larvas que de la misma manera resultó significativa para la prueba $t(4)=3,655$; $p=0,022$ y IC95% [4,361 - 14,839] (Tabla 33).

Tabla 33

Muestras emparejadas entre larvas de T. molitor vivas y muertas durante 15 y 30 días para PP.

Prueba de muestras emparejadas									
Diferencias emparejadas									
	Media	Diferencia Media	Desviación estándar	Media de error estándar	95% de intervalo de confianza		t	gl	Sig. (bilateral)
					Inferior	Superior			
Larvas vivas 15									
	20,40	9,600	4,219	1,887	4,361	14,839	5,088	4	0,007
Larvas vivas 30									
Larvas muertas 15									
	9,60	6,600	4,037	1,806	1,587	11,613	3,655	4	0,022
Larvas muertas 30									

El comportamiento de las larvas de *T. molitor* ante el polímero PP entre los días 30 y 45, permitió observar una disminución promedio de 1 larva viva entre los periodos señalados, tal disminución no fue significativa $t(4)=2,333$; $p=0,080$ y IC95% [0,266 - 3,066]. En cuanto a las larvas muertas entre los días 30 y 45, se pudo establecer una diferencia de 1 larva que no resultó significativa para la prueba $t(4)=-0,647$; $p=0,553$ y IC95% [1,975 - 3,175] (Tabla 34).

Tabla 34

Muestras emparejadas entre larvas de T. molitor vivas y muertas durante 30 y 45 días para PP.

Prueba de muestras emparejadas									
Diferencias emparejadas									
	Diferencia		Desviación estándar	Media de error estándar	95% de intervalo de confianza		t	gl	Sig. (bilateral)
	Media	Media			Inferior	Superior			
Larvas vivas 30									
	10,80	1,400	1,342	0,600	0,266	3,066	2,333	4	0,080
Larvas vivas 45									
Larvas muertas 30									
	4,60	0,600	2,074	0,927	1,975	3,175	-0,647	4	0,553
Larvas muertas 45									

El comportamiento de las larvas de *T. molitor* ante el polímero PP entre los días 45 y 60, permitió observar una disminución promedio de 3 larvas vivas entre los periodos señalados, tal disminución fue significativa $t(4)=3,301$; $p=0,030$ y IC95% [0,508 - 5,892]. En cuanto a las larvas muertas entre los días 45 y 60, se pudo establecer una diferencia de 2 larvas que no resultó significativa para la prueba $t(4)=1,365$; $p=0,244$ y IC95% [1,862 - 5,462] (Tabla 35).

Tabla 35

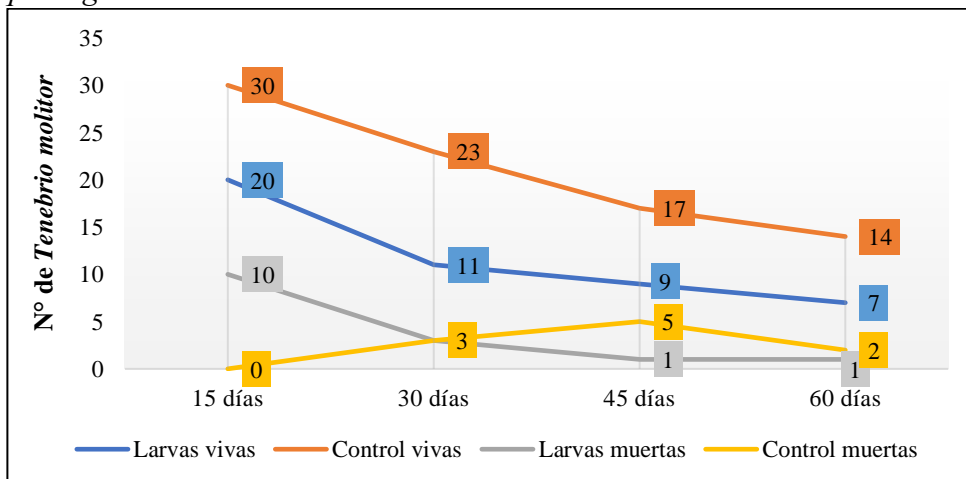
Muestras emparejadas entre larvas de T. molitor vivas y muertas durante 45 y 60 días para PP.

Prueba de muestras emparejadas									
Diferencias emparejadas									Sig.
									(bilateral)
		Media		95% de intervalo				t	gl
		Diferencia	Desviación	de error	de confianza	Inferior	Superior		
Media	Media	estándar	estándar						
Larvas vivas									
45 Larvas	9,40	3,200	2,168	0,970	0,508	5,892	3,301	4	0,030
vivas 60	6,20								
Larvas muertas 45									
Larvas	3,00	1,800	2,950	1,319	1,862	5,462	1,365	4	0,244
muertas 60	1,20								

La figura 25 de medias para la supervivencia de las larvas de *Tenebrio molitor* ante el PP permite observar una mayor tasa de variación de larvas vivas entre los días 15 y 30, la cual puede deberse al canibalismo observado en este tiempo. Así mismo, se observa una mayor variación negativa entre los días 30 y 45 de las larvas en control vivas, y en ese mismo lapso de tiempo se observa una correspondencia entre las larvas de control muertas con un comportamiento al alza.

Figura 25

Tasa de supervivencia de las larvas de T. molitor durante PP “Mascarilla quirúrgica” durante 2 meses.



Al observar el comportamiento de las larvas de *Tenebrio molitor* ante el polímero PS entre los días 15 y 30, se pudo observar una disminución promedio de 12 larvas vivas entre los periodos señalados tal disminución fue significativa $t(4)=20,237$; $p=0,000$ y IC95% [10,181 - 13,419]. En cuanto a las larvas muertas entre los días 15 y 30, se pudo establecer una diferencia de 2 larvas que no resultó significativa para la prueba $t(4)=-1,725$; $p=0,160$ y IC95% [0,975 - 4,175] (Tabla 36).

Tabla 36

Muestras emparejadas entre larvas de T. molitor vivas y muertas durante 15 y 30 días para PS.

Prueba de muestras emparejadas									
Diferencias emparejadas									
		Media		95% de intervalo				Sig.	
		Diferencia	Desviación	de error	de confianza				
Media	Media	estándar	estándar	Inferior	Superior	t	gl	(bilateral)	
Larvas vivas 15									
Larvas vivas 30	29,00	11,800	1,304	0,583	10,181	13,419	20,237	4	0,000
	17,20								
Larvas muertas									
15	1,00								
Larvas muertas 30	2,60	1,600	2,074	0,927	0,975	4,175	-1,725	4	0,160

El comportamiento de las larvas de *T. molitor* ante el polímero PP entre los días 30 y 45, permitió observar una disminución promedio de 7 larvas vivas entre los periodos señalados, tal disminución fue significativa $t(4)=9,731$; $p=0,001$ y IC95% [4,717 - 8,483]. En cuanto a las larvas muertas entre los días 30 y 45, se pudo establecer una diferencia de 3 larvas que no resultó significativo para la prueba $t(4)=-1,897$; $p=0,131$ y IC95% [1,390 - 7,390] (Tabla 37).

Tabla 37

Muestras emparejadas entre larvas de T. molitor vivas y muertas durante 30 Y 45 días para PS.

Prueba de muestras emparejadas									
Diferencias emparejadas									
	Media	Media	Desviación estándar	Diferencia estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia		t	gl	Sig. (bilateral)
					Inferior	Superior			
Larvas vivas 30	17,20	6,600	1,517	0,678	4,717	8,483	9,731	4	0,001
Larvas vivas 45	10,60								
Larvas muertas 30	2,60	3,000	3,536	1,581	1,390	7,390	-1,897	4	0,131
Larvas muertas 45	5,60								

El comportamiento de las larvas de *T. molitor* ante el polímero PS entre los días 45 y 60, permitió observar una disminución promedio de 2 larvas vivas entre los periodos señalados, tal disminución no fue significativa $t(4)=3,651$; $p=0,062$ y IC95% [0,479 - 3,521]. En cuanto a las larvas muertas entre los días 45 y 60, se pudo establecer una diferencia de 5 larvas que resultó significativa para la prueba $t(4)=6,782$; $p=0,002$ y IC95% [2,717 - 6,483] (Tabla 38).

Tabla 38

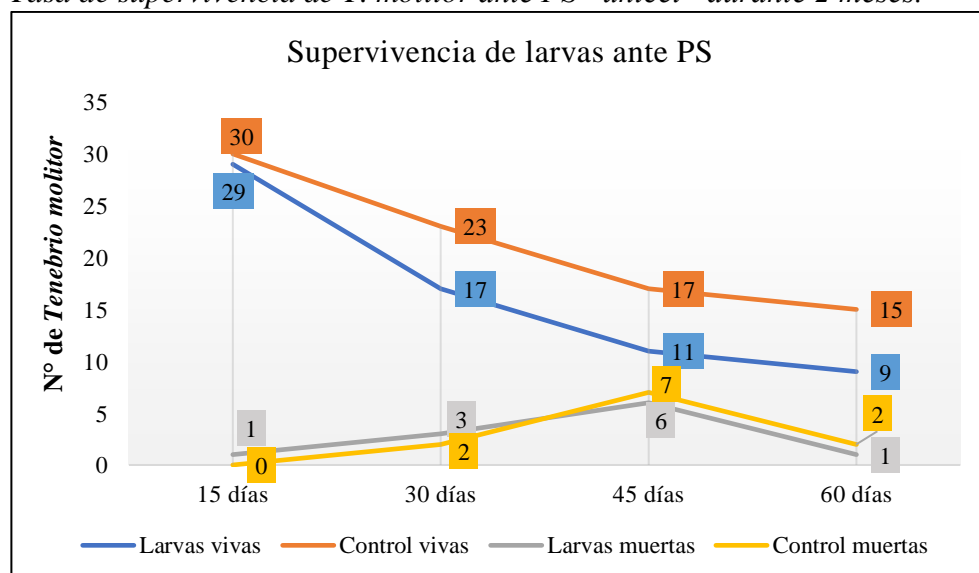
Muestras emparejadas entre larvas de T. molitor vivas y muertas durante 45 y 60 días para PS.

Prueba de muestras emparejadas									
Diferencias emparejadas									
		Media		95% de intervalo				Sig.	
		Diferencia	Desviación	de error	de confianza				
Media	Media	estándar	estándar	Inferior	Superior	t	gl	(bilateral)	
Larvas vivas 45									
Larvas vivas 60	10,60	2,000	1,225	0,548	0,479	3,521	3,651	4	0,062
	8,60								
Larvas muertas									
45 Larvas muertas 60	5,60	4,600	1,517	0,678	2,717	6,483	6,782	4	0,002
	1,00								

En cuanto a la exposición al polímero PS, se puede evidenciar en el gráfico de medias una tasa de variación negativa en la cantidad de larvas vivas más pronunciada entre el día 15 y el 30. Así mismo, se puede observar un comportamiento de larvas muertas tanto en control como las expuestas al polímero señalado, sobre todo entre el día 30 y el día 45 con un comportamiento al alza, y una disminución entre el día 45 y el día 60 en el mismo sentido para ambas muestras (Figura 26).

Figura 26

Tasa de supervivencia de T. molitor ante PS “unicel” durante 2 meses.



IV. DISCUSIÓN

4.1. Porcentaje de degradación ante *Tenebrio molitor*

El consumo de polímeros fue registrado durante 2 meses en relación a la tasa porcentual promedio de masa inicial (20 g) con respecto a las larvas de *T. molitor* (n=30 larvas para cada repetición). El porcentaje promedio de consumo de *T. molitor* para cada polímero fue de 8,8387% para PS “unicel”, 0,9505% para PP “mascarilla quirúrgica, 0,0473% para HDPE “botella de detergente, 0,5342% para PET “botella plástica y 0,5272% para LDPE “bolsa plástica”. El poliestireno unicel presentó mayor porcentaje de consumo en relación a los otros tipos de polímeros, resultado similar al obtenido en otros estudios donde el porcentaje de consumo de poliestireno fue mayor en comparación con otros polímeros como el polietileno (Molina *et al.*, 2016; Álvarez y Botache, 2020). Leluk *et al.*, (2017), también en su investigación mostraron mayor eficiencia de consumo en el poliestireno, con un porcentaje mayor a nuestros resultados calculados; debido a que *T. molitor* se encontraba a una condición ambiental constante de 28 °C y humedad relativa de 78 - 80%.

Las características físicas y mecánicas de los polímeros pueden explicar la diferencia del porcentual promedio de consumo por las larvas de *T. molitor*. El Poliestireno expandido (unicel blando) es más biodisponible por poseer una estructura baja en rigidez o dureza, en cambio el Poliestireno extruido (unicel compacto) tiene una alta rigidez o dureza, siendo menos biodisponible para el consumo de las larvas (Huaranca, 2021). Así, la biodisponibilidad de los polímeros por parte de las larvas de *T. molitor* debe estar asociado también a la capacidad de las mandíbulas para cortar y triturar cada polímero. Por tanto, nuestros resultados indican que *T. molitor* tiene alta efectividad en la biodegradación de polímeros blandos como el poliestireno (unicel).

4.2. Capacidad biodegradadora de *Tenebrio molitor*

Tenebrio molitor tuvo una mayor capacidad de biodegradar el polímero PS (unicel) en comparación con los otros tipos de polímeros. La capacidad de biodegradación de *T. molitor* debe estar asociado a la capacidad de las bacterias presentes en el intestino. El principal encargado de despolimerizar el polímero a derivados más simples es el *Exiguobacterium sp.*, presente en *T. molitor* ya que posee una bacteria Gram positiva no formadora de esporas (Yang *et al.*, 2015). La cual se puede decir que existen microorganismos dentro del *T. molitor*, donde se realiza un proceso metabólico y enzimático encargadas de biodegradar la estructura molecular del plástico, reduciéndolo en su peso a través del tiempo. Según Bulak *et al.* (2021), menciona que el *Tenebrio molitor* son organismos idóneos para degradar plásticos derivados del petróleo, ya que estos expuestos a degradación ambiental natural son muy lentas.

Para el consumo promedio de los 5 tipos de polímeros, se obtuvo los siguientes resultados para PET “botella plástica”: 0,10684 g; HDPE “botella de detergente”: 0,00946 g; mientras LDPE “bolsa plástica”: 0,1054 g; PP “mascarilla quirúrgica”: 0,1901g y por último PS “unicel”: 1,76774 g. Estos datos no fueron muy favorables, debido a que la alimentación de las larvas fue alterada a lo común de una dieta de salva de trigo, papa y zanahoria; ocasionando que disminuya su capacidad de consumo de *T. molitor*, provocando así el cambio de fase de larva a pupa de manera abismal en tan solo 15 días y no presentando cambios morfológicos visibles entre individuos. *T. molitor* no muestra diferencias morfológicas visibles, pero si en cuanto al tiempo de cambio de fase en larvas, las cuales siendo alimentadas con dieta mala (polímeros) alcanzan la fase de pupa antes que las larvas alimentadas con dieta buena (cereales, zanahoria, manzana, etc) (Jiménez *et al.*, 2019). Por esta razón podemos determinar que la alimentación con polímeros a *T. molitor* afecta su ciclo de vida haciendo que acelere sus etapas larvarias. De igual manera que Molina *et al.* (2016) indican en su investigación que *T. molitor* degrada cierta proporción de los polímeros, donde el cambio de alimentación no afecta la salud y reproducción de estos organismos.

Otra cosa que se pudo notar en la investigación es que a mediados del mes 1, no se observaba actividad biodegradadora por parte de *T. molitor*. Lo cual con información previamente consultada a Sermeño *et al.* (2004), observaron que después de los 10 días las larvas comenzaron un estado de inactividad o reposo en el que no consumen alimento, esto ocurre cuando están cerca de llegar a su última muda como larvas.

La capacidad de consumo se detuvo en la fase de pupa, donde también se denotó el canibalismo por parte de estos coleópteros, estando inhabilitados aproximadamente por 7 días sin poder alimentarse. El grado de biodegradación se vio afectado por el número de larvas ya que cuantas más larvas, mayor será el grado de biodegradación. La mortalidad de *T. molitor* pueden estar asociados con el canibalismo, ya que en la etapa larvaria estos insectos requieren un nivel de agua constante, por lo que tienden a alimentarse de sus semejantes que se encuentran en la misma muestra para proporcionarles el nivel de agua que necesitan (Daviran, 2017). De manera que el canibalismo es un factor desfavorable para la biodegradación de los polímeros, permitiendo reducir las poblaciones de sus semejantes.

4.3. Efecto en la alimentación con polímero para *Tenebrio molitor*

Uno de los efectos principales en la alimentación del polímero fue la temperatura, ya que este indicador no fue de manera constante durante los dos meses de consumo. La temperatura registrada se dio a condiciones ambientales de la ciudad de Jaén, siendo así no constante con variaciones mínimas desde los 21.9 °C hasta los 32.8 °C, teniendo un promedio de 28.5 °C. Según Albarracín y Clavijo (2021) la temperatura influye en la actividad de las larvas, por lo que en épocas de verano esta sería menos eficiente que épocas de invierno. El *T. molitor* tiene una capacidad limitada para adaptarse a los cambios de temperatura y las altas temperaturas son perjudiciales para las larvas (Allen *et al.*, 2012). No obstante, Sarmiento (2018) realizó un estudio a temperaturas entre 28°C y 34°C, lo que puede indicar que la supervivencia no se ve afectada, pero sí el consumo de polímero por parte de la larva.

El *T. molitor* es una alternativa de solución para degradación de residuos plásticos, donde su capacidad de vida depende de temperatura y humedad (Wu *et al.*, 2019). La larva *T. molitor* degrada el poliestireno a una temperatura óptima de 15 a 20°C, por lo que en temperaturas altas sería menos eficiente que en temperaturas bajas (Albarracín, 2020). Siendo así que el trabajo de investigación se pudo determinar, que la temperatura es importante para la actividad de las larvas y su posible capacidad de consumo de polímero. Para Sarmiento (2018), donde realizó su trabajo a temperaturas de 28 a 34 °C, indicó que la sobrevivencia no se ve afectada sin embargo el consumo de poliestireno si se vería afectada.

El *T. molitor* también se ve afectado con la humedad respecto a la alimentación con polímeros, esto puede ser ocasionado a que mayor humedad presente en las muestras podría matar a las larvas. Para *T. molitor* tuvo mayor efecto de mortalidad presente en los controles a causa de la alimentación constante de manzana, zanahoria y papa. El parámetro óptimo de humedad es del 70 al 80%, así mismo, estos organismos en ambientes de poca humedad no excretan, evitando así la pérdida de agua, igualmente, pierden carbono para mantener un nivel apropiado de humedad (Daviran, 2017). Los organismos de control suministrada como dieta una rodaja de papa y zanahoria, son cambiadas cada tres días para evitar la descomposición de esta y produzca en ella la muerte de los *T. molitor* (Álvarez y Botache, 2020).

La luz es otro factor importante que afecta la alimentación de *T. molitor*. El efecto de la luz disminuye el consumo del plástico por parte de las larvas, impidiéndolas consumir por las mañanas y permitiéndoles alimentarse por las noches; ya que la oscuridad les admite desplazarse con mayor facilidad para su nutrición (Peng *et al.*, 2019). Similar a lo observado en la investigación, donde la luz es uno de los factores que afecta a las larvas en su proceso de degradación, debido a que los insectos son fotofóbicos y éstos comienzan a consumir en mayor cantidad los plásticos de noche (Molina *et al.*, 2016).

La falta de los niveles de agua presentes en las larvas imposibilita el adecuado crecimiento y reproducción de estas, permitiendo que a menudo que pasa el

tiempo en el consumo de los polímeros requieren de agua y al no proporcionarle estas se disecan y otras optan por el canibalismo entre sí mismas. Se concuerda que la mortalidad por falta de niveles de agua en su organismo influye en el proceso de biodegradación de plástico, dado que los individuos van disminuyendo su tasa de supervivencia con relación al tiempo (Álvarez y Botache, 2020).

Los tratamientos se realizaron en tapers rectangulares de 17 cm de largo x 12 cm ancho y 6 cm de espesor para los Tratamientos 1,2,3 y 4 que se muestran en el anexo 53, de notándose un espacio reducido para poder desplazarse las larvas con mayor facilidad. A comparación del tratamiento 5 “unicel”, se usaron un táper de mayor tamaño rectangular de 30 cm de largo, 20 cm de ancho y 15 de espesor como se muestra en el anexo 53, este último polímero fue más voluminoso que los demás y por ende se optó algo más amplio que pueda facilitar su desplazamiento. El espacio es una variable a considerar, pues recipientes pequeños reducen la movilidad de las mismas, provocan más interacciones entre larvas y es posible que se favorezca el canibalismo, mientras que recipientes más amplios podrían favorecer la dispersión de las larvas y reducir su posible mortalidad. La separación de las larvas se debe sectorizar en recipientes cilíndricos (muestras) y colocando entre 25 a 30 individuos por cada recipiente, donde las paredes internas de los recipientes deben ser de superficie lisa para que las larvas no escapen del recipiente y amplias para su desplazamiento continuo (Portocarrero, 2021).

El uso de larva de *T. molitor* adulto para el consumo de los polímeros (PET, HDPE, LDPE, PP Y PS), tuvo un cambio de fase temprana después de 15 días iniciado la investigación, por lo contrario, las larvas de control alimentada con solo papa y zanahoria se prolongó un poco más su pupación. Esto indica que su mala alimentación carecía de los nutrientes que necesitaban para completar su ciclo de vida de una manera constante y no precipitada. Sin embargo, Lou *et al.* (2021) mencionan que la tasa de supervivencia de *T. molitor* alimentadas con dietas de poliestireno, polietileno y con salvado de trigo sostiene que no tiene efecto significativo en su supervivencia. Para Yang *et al.* (2021) evidenciaron que la capacidad de consumir poliestireno en una fase larvaria de *T. molitor* joven, permite la posibilidad de trabajar de manera continua.

La etapa más óptima para el consumo de los polímeros es la larval, ya que necesita de mayor alimento para poder realizar su etapa de pupación y posteriormente a la de adulto. En los instares larvales pequeños y medianos son más favorables para la investigación de *Tenebrio molitor*, debido a que tiene la capacidad de poder degradar poliestireno, gracias al microbiota que presenta la larva (Chavesta y Guerra, 2019).

Se observó que el porcentaje de degradación por canibalismo fue mayor para PET “botella plástica” con 53.3% de su población total y la menor muerte por canibalismo fue del 20% por parte del PS “unicel”. Lo que determina que esto ocurrió en mayor frecuencia en la etapa de pupa, debido a que estas se encuentran inmóviles e indefensas. El *T. molitor* en fase de pupa dura aproximadamente una semana, algunas son fuente de nutrición para los adultos bien desarrollados, dado que en estado de pupa no se desplazan permanecen en latencia en el que no se alimentan (Álvarez y Botache, 2020).

Por tal motivo el canibalismo depende del alimento que se suministra como dieta, ya que alimentado con una dieta a base de cereales, zanahoria y papa como se muestra en los controles del trabajo de investigación no se muestra gran porcentaje de canibalismo; por el contrario, en una alimentación solo con plásticos esta podría necesitar de niveles de agua en su etapa adulta y así poder reproducirse; por ende, opta por el canibalismo hacia las pupas de sus mismos individuos. La mortalidad está relacionada con el canibalismo, ya que, estos insectos en su estado larval requieren de niveles de agua constantes, por lo cual tienden a alimentarse de sus semejantes y así suplir los niveles de agua que necesita para realizar los procesos fisiológicos (Daviran, 2017). Como menciona Portocarrero (2021), se presenta limitantes relacionados a temas como canibalismo, temperatura, humedad y dieta, los cuales pueden comprometer la eficiencia del proceso de degradación del polímero.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- ✓ *Tenebrio molitor* tiene el mayor porcentaje de degradación hacia el poliestireno PS “unicel” con el 8,8387%, durante un lapso de tiempo de 2 meses, a condiciones ambientales y una dieta de 20g del plástico.
- ✓ Se concluye que la capacidad biodegradadora promedio de *T. molitor* fue favorable para PS “unicel”: 1,76774 g consumido, resaltando que este fue el de mejor consumo que se registró, siendo hasta ahora como la opción más viable para biodegradar materiales plásticos como el poliestireno (PS).
- ✓ Los distintos alimentos de polímeros evaluados para el consumo de *T. molitor*, afectan directamente su tasa de supervivencia, demostrándose que la alimentación a base de PS “unicel” favorece la supervivencia de *T. molitor* en comparación con otros tipos de polímeros. Sin embargo, el control de las variables ambientales también es importante para la supervivencia de las larvas.
- ✓ El canibalismo fue uno de los factores que más afectó a la tasa de supervivencia durante los primeros 30 días de evaluación, debido a que en fase de pupa los organismos dejan de alimentarse y son más susceptibles al canibalismo.

5.2. RECOMENDACIONES

- ✓ Para una mejor eficiencia de biodegradación por parte de *T. molitor*, realizar estudios a una temperatura de 25 a 28 °C y una humedad relativa del 70 al 80%.
- ✓ Se recomienda trabajar con dosis de alimentación de polímero menor a los 10g, debido a que las larvas puedan desplazarse de mejor manera.

- ✓ Para estudios con tiempos prolongados, los instares larvales juveniles deben seleccionarse de tal manera que se eviten las perturbaciones causadas por cambios en las etapas de desarrollo de las larvas, ya que los especímenes adultos tienden a ser uso del canibalismo hacia las fases menores para poder equilibrar sus niveles de agua.

- ✓ Investigar la eficiencia de biodegradación con más tipos de polímero diferentes a los trabajados, mediante instares larvales más jóvenes de *T. molitor* y comparar los resultados. Para no afectar el desarrollo de larvas suministrar como dieta a los polímeros en presencia de salvado de trigo u otro alimento que contuviera agua, favoreciendo la biodisponibilidad del poliestireno y evitando el canibalismo.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albarracín, R. y Clavijo, C. (2021). *Condiciones ambientales y biológicas del Tenebrio molitor en la degradación del poliestireno*. <http://dx.doi.org/10.47796/ing.v3i2.531>
- Allen, J. L., Clusella-Trullas, S., y Chown, S. L. (2012). *The effects of acclimation and rates of temperature change on critical thermal limits in Tenebrio molitor (Tenebrionidae) and Cyrtobagous salviniae (Curculionidae)*. *Journal of Insect Physiology*, 58(5), 669-678. <https://doi.org/10.1016/j.jinsphys.2012.01.016>
- Álvarez, D. & Botache, L. (2020). *Biodegradación de plástico con larvas del coleóptero Tenebrio molitor como un aporte interdisciplinar a la biotecnología ambiental*. [Tesis de pregrado, Universidad Pedagógica Nacional]. <http://hdl.handle.net/20.500.12209/12205>
- Bradney, L., Wijesekara, H., Palansooriya, K. N., Obadamudalige, N, Bolan, N., Yong, S. O., Rinklebe J., Ki-Hyun, K. y Kirkham, M. B. (2019). Particulate plastics as a vector for toxic trace-element uptake by aquatic and terrestrial organisms and human health risk. *Environment International*. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.104937>
- Bulak, P.; Proc, K.; Pytlak, A.; Puszka, A.; Gawdzik, B.; Bieganowski, A. (2021). *Biodegradation of Different Types of Plastics by Tenebrio molitor Insect*. *Polymers*, 13, 3508. <https://doi.org/10.3390/polym13203508>
- Carrasco, S. (2005). *Metodología de la Investigación científica*. Lima: Editorial San Marcos, 474 pp.
- Chavesta, M. & Guerra, A. (2019). *Aprovechamiento de las condiciones alimentarias del Gorgojo negro común (Tenebrio molitor) para la biodegradación del poliestireno en los Residuos Sólidos domiciliarios de la Planicie*. [Grado de bachiller, Universidad Peruana Unión]. <http://hdl.handle.net/20.500.12840/2355>
- Chia, W.; Ying, D.; Shiong Khoo, K.; Kay, A. y Wayne, K. (2020). Nature's fight against plastic pollution: Algae for plastic biodegradation and bioplastics production. *Environmental Science and Ecotechnology, Volume 4, 100065*. <https://doi.org/10.1016/j.es.2020.100065>.

- Chowdhury, H.; Chowdhury, T. y Sait, S. (2021). Estimación de la contaminación plástica marina por mascarillas COVID-19 en regiones costeras. *Vol. 168, p. 112419*. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112419>.
- Colegio de Ciencias y Humanidades (2018). *Degradación de Poliestireno mediante el microbiota del Tenebrio molitor y Artemia franciscana*. Feria de las ciencias UNAM, México. https://www.feriadelasciencias.unam.mx/anteriores/feria26/feria100_01_degradacion_de_poliestireno_mediante_la_microbiota.pdf.
- Daviran, P. (2017). Biodegradación de la Espuma de Poliestireno por la larva de *Tenebrio molitor* para la producción de Abono. Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería. Lima -Perú. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/22578>
- Diaz, R. (2021). El plástico biodegradable en el Perú: ¿una solución o un problema? *South Sustainability, 2(2), e042*. <https://doi.org/10.21142/SS-0202-2021-pb004>.
- Fabiani, C.; Cavagnoli, S.; Chiatti, C. y Pisello, A. (2022). Gestión de mascarillas quirúrgicas desechables para hacer frente a la contaminación generada por la pandemia: investigaciones termoacústicas y evaluación del ciclo de vida de nuevos paneles de construcción reciclados. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2022.106509>.
- Flores, P. (2020). La problemática del consumo de plásticos durante la pandemia de la COVID-19. *South Sustainability, 1(2), e016-e016*. <https://revistas.cientifica.edu.pe/index.php/southsustainability/article/view/733>
- Garavito, J. (2007). *Plásticos Protocolo Curso de Procesos de Manufactura*. Escuela colombiana de ingeniería.
- Gigault, J.; Halle, A.; Baudrimont, M.; Yves, P.; Gauffre, F.; Linh, T.; Hadri, H.; Grassl, B. y Reynaud, S. (2018). Current opinion: What is a nanoplastic? *Environmental Pollution, Volume 235, Pages 1030-1034*. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.01.024>.
- Halden, R. U. (2010). Plastics and health risks. *Annual Review of Public Health, 31, pp. 179-194*. <https://doi.org/10.1146/annurev.publhealth.012809.103714>

- Hernández, R.; Fernández, C. y Baptista, P. (2014). Metodología de la investigación. 6ª ed. México: McGraw Hill, 2014. 600 pp. <https://archive.org/details/hernandezetal.metodologiadelainvestigacion/page/n1/mode/2up>.
- Huarancca, C. (2021). *Biodegradación de Poliestireno, por la acción de larvas de Tenebrio molitor linnaeus, a nivel de laboratorio-Lima-2021*. [Tesis de grado, Universidad César Vallejo]. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/67647>
- Jiménez, A.; Murillo, Y.; Ortiz, J.; Pérez, L. & Linares, C. (2019). Caracterización morfológica de Tenebrio molitor alimentado con poliestireno. Revista Jóvenes en la ciencia, Volumen 5, XXV Verano de la Ciencia ISSN 2395 9797. <http://repositorio.ugto.mx/handle/20.500.12059/3486>
- Leluk K., Hanus B., Rybak J. y Božek M (2017). *The effectiveness of the biodegradation of raw and processed polystyrene by mealworms*. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20172200103>
- López, M. (2020). *Supervivencia de larvas de dos especies de escarabajos Tenebrio molitor y Dermestes sp. expuestas a dietas basadas en dos tipos de plásticos (polietileno y poliestireno)*. [Tesis de bachiller, Universidad Central de Ecuador -UCE]. <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/21338>
- Lou You, Li Yiran, Lu Baiyun, Liu Qiang, Yang Shan-Shan, Liu Bingfeng, Ren Nanqi, Wu Wei-Min, Xing Defeng (2021). *Response of the yellow mealworm (Tenebrio molitor) gut microbiome to diet shifts during polystyrene and polyethylene biodegradation*, Volume 416. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126222>.
- Molina, F., Flores, K., & Hermosillo, M. (2016). Degradación de polímeros con *Tenebrio molitor*. *Revista Instituto Mexicano Madero Sistema Bilingüe*. <http://hdl.handle.net/11670/261>
- Munno, K.; Helm, P.; Jackson D.; Rochman C. y Simset A. (2018). Impactos de la temperatura y métodos de digestión química seleccionados en partículas microplásticas. *Toxicología y química ambiental*, 2018, vol. 37, n° 1, pág. 91-98. <https://doi.org/10.1002/etc.3935>
- National Geographic (2023). Cómo el mundo puede terminar con la contaminación del medio ambiente a causa del plástico. <https://www.nationalgeographic.com/medio-ambiente/2023/06/como-el->

mundo-puede-terminar-con-la-contaminacion-del-medio-ambiente-a-causa-del-plastico

- Okuku, E.; Kiteresi, L.; Owato, G.; Otieno, K.; Mwalugha, C.; Mbuche, M.; Gwada, B.; Nelson, A.; Chepkemboi, P.; Achieng, Q.; Wanjeri, V.; Ndwiga, J.; Mulupi, L. y Omire, J. (2021). The impacts of COVID-19 pandemic on marine litter pollution along the Kenyan Coast: A synthesis after 100 days following the first reported case in Kenya. *Marine Pollution Bulletin*, Volume 162. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111840>.
- Organización de las Naciones Unidas (2023). El mundo debe trabajar unido para acabar con la contaminación por plásticos. <https://news.un.org/es/story/2023/06/1521687>
- Peng, B.; Su, Y.; Chen, Z.; Chen, J.; Zhou, X.; Benbow, M.; Criddle, C.; Wu, W. y Zhang, Y. (2019). Biodegradation of Polystyrene by Dark (*Tenebrio obscurus*) and Yellow (*Tenebrio molitor*) Mealworms (Coleoptera: Tenebrionidae). *Environmental Science y Technology*, 53(9), 5256-5265. <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b06963>.
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (2023). Cerrar el grifo: cómo el mundo puede acabar con la contaminación plástica y crear una economía circular. https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/42277/Plastic_pollution.pdf?sequence=3.
- Portocarrero, F. (2021). *Biodegradación de poliestireno con Tenebrio molitor para la sostenibilidad de empresas*. [Tesis de grado, Universidad Peruana Cayetano Heredia]. <https://hdl.handle.net/20.500.12866/9025>
- Posada, L. y Mosquera, S. (2007). Biodegradación de la materia orgánica presente en las aguas residuales de una empresa de pinturas. Universidad EAFIT, Medellín. <https://repository.eafit.edu.co/server/api/core/bitstreams/d8566a12-447d-4bae-b2b5-1d2aa4067595/content>.
- Prieto, R. (2022). Contaminación Ambiental Por plásticos Durante La Pandemia Y Sus Efectos En La Salud Humana. *Rev Colomb*, 38, 22-29. <https://doi.org/10.30944/20117582.2203>.
- Rivas, M., & Garelli, O. (2021). *Impacto de la contaminación por plásticos en la biodiversidad y patrimonio biocultural de México*.

- Sarmiento, A. P. (2018). *Establecimiento e implementación de un protocolo de cría de gusano de harina Tenebrio molitor (Coleoptera: Tenebrionidae), como apoyo al programa de conservación de la rana venenosa dorada Phylllobates terribilis (Anura: Dendrobatidae) en el Bioparque Wakatá, parque Jaime Duque*. <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/17749>
- Schnitzler, L.; Zarzycki, J.; Gerhard, M.; Konde, S.; Heinz, K.; Erb, T.; Maier, U.; Koch, M.; Hofmann, M. y Moog, D. (2021). Lensless digital holographic microscopy as an efficient method to monitor enzymatic plastic degradation. *Marine Pollution Bulletin*, Volume 163, 111950. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111950>.
- Sermeño J; Escobar J y Rivas A. (2004). Manual técnico: Plagas Invertebradas. [Universidad de El Salvador]. <https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/9113>
- Shen, M.; Huang, W.; Chen, M.; Song, B.; Zeng, G. y Zhang, Y. (2020). Crisis de los (micro) plásticos: una contribución innegable a las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero y al cambio climático. *Vol. 254, p. 120138*. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120138>.
- Singh, N., Duan, H. y Tang, Y. (2020). Toxicity evaluation of E-waste plastics and potential repercussions for human health. *Environment International*, 137, 105559. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105559>
- Stanford Woods Institute for the Environment (2015). *Los gusanos que comen plástico pueden ofrecer una solución al aumento de los desechos, descubren investigadores de Stanford*. <https://news.stanford.edu/news/2015/september/worms-digest-plastics-092915.html>
- Tsochatzis, E.; Lopes, J.; Gika, H.; Teodoridis, G. (2020). Polystyrene biodegradation by *Tenebrio molitor* larvae: identification of generated substances using a GC-MS untargeted screening method. <https://doi.org/10.3390/polym13010017>.
- Wu, Qingqing; Tao, Huchun; Wong, Ming Hung. (2019). Feeding and metabolism effects of three common microplastics on *Tenebrio molitor* L. *Environmental geochemistry and health*, vol. 41, no 1, p. 17-26. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10653-018-0161-5>
- Xu, B.; Liu, F.; Cryder, Z.; Huang, D.; Lu, Z.; He, Y., Wang, H.; Lu, Z.; Brookes, P.; Tang, C.; Gan, J. y Xu, J. (2020). Microplásticos en el medio ambiente del

suelo: ocurrencia, riesgos, interacciones y destino – Una revisión. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 50(21), 2175–2222. <https://doi.org/10.1080/10643389.2019.1694822>.

- Yang, L., Gao, J., Liu, Y., Zhuang, G., Peng, X., Wu, W.-M., y Zhuang, X. (2021). *Biodegradation of expanded polystyrene and low-density polyethylene foams in larvae of Tenebrio molitor Linnaeus (Coleoptera: Tenebrionidae): Broad versus limited extent depolymerization and microbe-dependence versus independence*. *Chemosphere*, 262, 127818. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127818>.
- Yang, Y., Yang, J., Wei, Wu., Zhao, J., Yiling, C., Gao, L., Yang, R., & Jiang, L. (2015). *Biodegradation and mineralization of polystyrene by plastic-eating mealworms: Part 1. Chemical and physical characterization and isotopic tests [Biodegradación y mineralización del poliestireno por gusanos de la harina que comen plástico: Parte 1. Caracterización química y física y pruebas isotópicas]*. *American Chemical Society*. Vol. 49. <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b02661>

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a Dios por permitirme culminar este gran logro, a mis asesores el Dr. Alexander Huamán y Dr. Manuel Ix que me acompañaron en este proceso, motivándome, orientándome y compartiendo sus conocimientos para el aporte de este proyecto de tesis. También agradecer a mis compañeros de estudios que de una y otra manera estuvieron involucrados en esta investigación. De igual manera agradezco a la Universidad Nacional de Jaén por formarme como profesional y al Programa Nacional de Becas (PRONABEC) por todo el soporte y apoyo económico durante mi carrera profesional.

Agradezco especialmente a mi familia por el tiempo y por ser los principales motivadores durante todo este proceso.

Ledinson Jhuniór Hoyos Ruiz

DEDICATORIA

Mi tesis lo dedico a toda mi familia, principalmente a mis padres Dency Ruiz y Johnny Hoyos por el cariño, apoyo incondicional, valores y enseñanzas inculcadas. A mi hermano Robinson, por ser fuente de motivación y por brindarme alegría e inspiración cada día. Gracias por su apoyo inquebrantable, su amor y sus sacrificios para que pueda cumplir una meta más.

A mis compañeros y amigos incondicionales, que sin esperar nada a cambio me brindaron apoyo, alegrías y experiencias inolvidables. También a todas esas personas que durante cinco años estuvieron presentes apoyándome para lograr este gran sueño.



Ledinson Jhuniór Hoyos Ruiz

ANEXOS

Anexo 1. Control de masa de polímeros

N°	Tratamiento	Repetición	Número de larvas	Tipo de polímero	Peso 1 mes (g)	Observación
1						
2						
3						
4						
5						
6	Control 1					
7						
8						
9						
10						
11						
12	Control 2					
13						
14						
15						
16						
17						
18	Control 3					
19						
20						
21						
22						
23						
24	Control 4					
25						
26						
27						
28						
29						
30	Control 5					

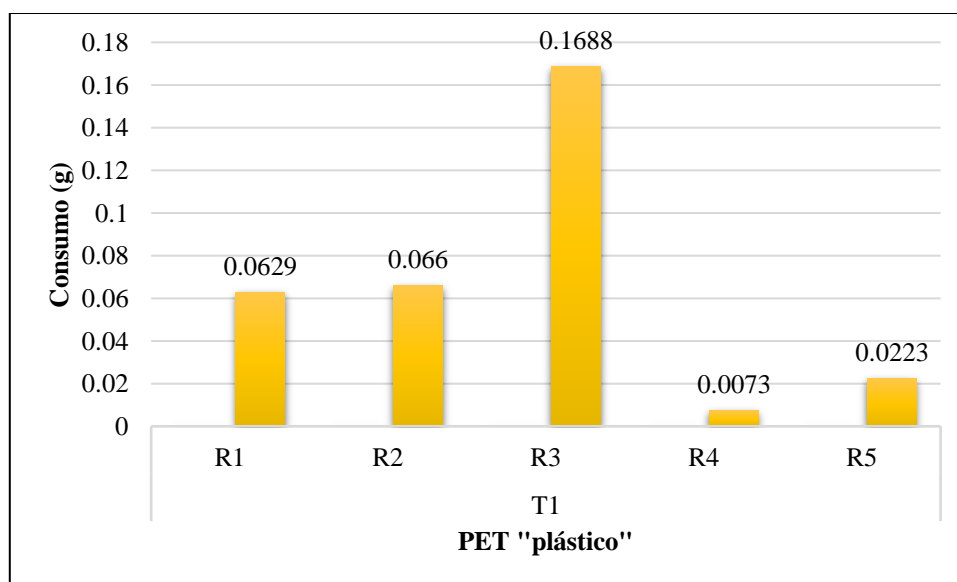
Anexo 2. Tasa de supervivencia de 1 mes.

		TASA DE SUPERVIVENCIA 1 MES						
Datos del investigador: Ledinson Jhunion Hoyos Ruiz						Características 1- 1.5 longitud		
N°	Tratamiento	Repetición	Fecha	Tiempo (días)	N° larvas vivas	N° larvas muertas	Cambio de fase	Observación
1								
2								
3								
4								
5								
6	Control 1							
7								
8								
9								
10								
11								
12	Control 2							
13								
14								
15								
16								
17								
18	Control 3							
19								
20								
21								
22								
23								
24	Control 4							
25								
26								
27								
28								
29								
30	Control 5							

Anexo 4. Control de masa del PET “botella plástica” durante 1 mes.

Tratamiento	Repetición	Número de larvas	Tipo de polímero	Peso final al 1º mes (g)	Consumo de polímero (g)	Observación
T1	R1	30	PET "plástico"	19,9371	0.0629	Consumo de polímero
	R2	30	PET "plástico"	19,9340	0.066	Consumo de polímero
	R3	30	PET "plástico"	19,8312	0.1688	Consumo de polímero
	R4	30	PET "plástico"	19,9927	0.0073	Consumo de polímero
	R5	30	PET "plástico"	19,9777	0.0223	Consumo de polímero
CONTROL 1		30	Dieta a base de (zanahoria y papa)			

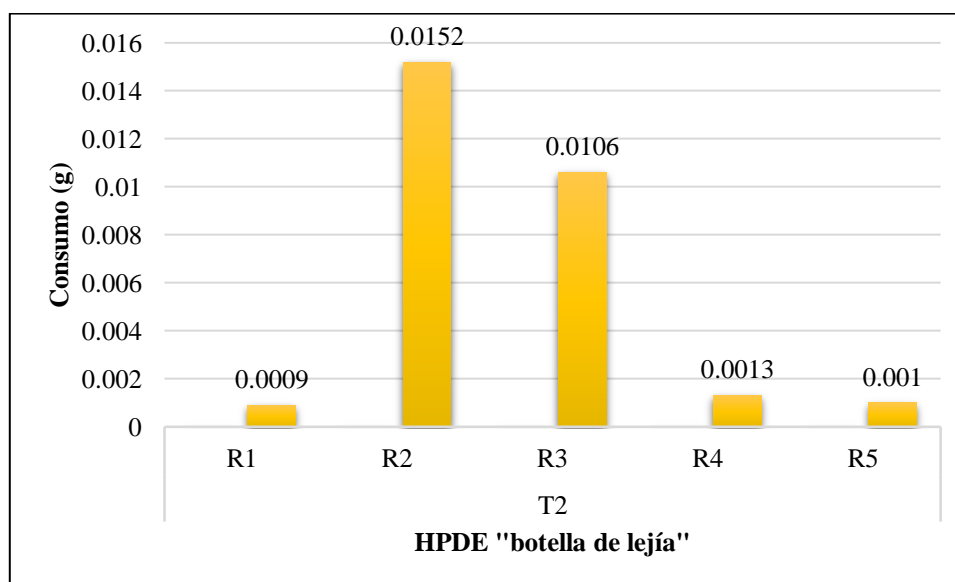
Anexo 5. Control de masa para 1 mes del PET “botella plástica”



Anexo 6. Control de masa del HDPE “botella de detergente” durante 1 mes.

Tratamiento	Repetición	Número de larvas	Tipo de polímero	Peso final al 1º mes (g)	Consumo de polímero (g)	Observación
T2	R1	30	HDPE "botella de detergente"	19,9991	0.0009	Consumo de polímero
	R2	30	HDPE "botella de detergente"	19,9848	0.0152	Consumo de polímero
	R3	30	HDPE "botella de detergente"	19,9894	0.0106	Consumo de polímero
	R4	30	HDPE "botella de detergente"	19,9987	0.0013	Consumo de polímero
	R5	30	HDPE "botella de detergente"	19,9990	0.001	Consumo de polímero
CONTROL 2		30	Dieta a base de (zanahoria y papa)			

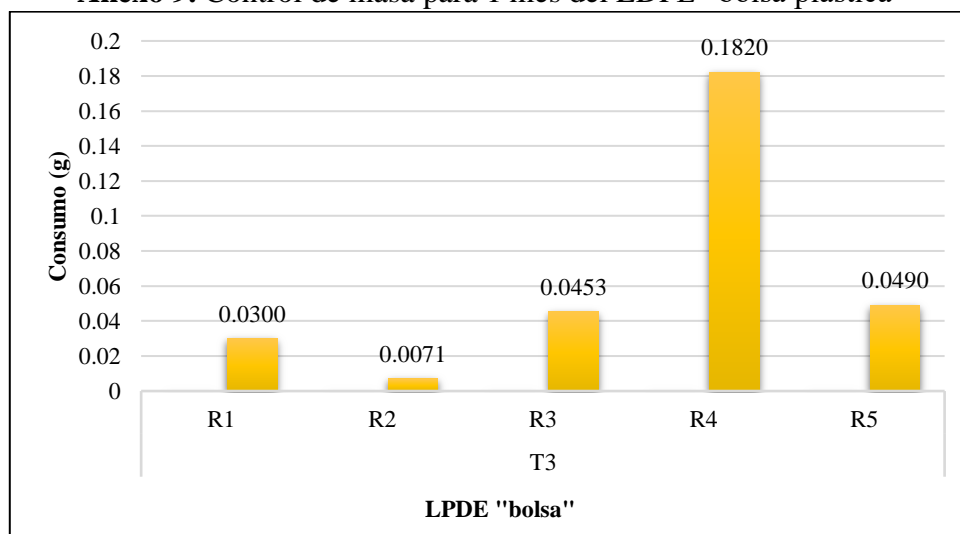
Anexo 7. Control de masa para 1 mes del HDPE “botella de detergente”



Anexo 8. Control de masa del LDPE “bolsa plástica” durante 1 mes.

Tratamiento	Repetición	Número de larvas	Tipo de polímero	Peso final al 1º mes (g)	Consumo de polímero (g)	Observación
T3	R1	30	LDPE "bolsa plástica"	19,9700	0.0300	Consumo de polímero
	R2	30	LDPE "bolsa plástica"	19,9929	0.0071	Consumo de polímero
	R3	30	LDPE "bolsa plástica"	19,9547	0.0453	Consumo de polímero
	R4	30	LDPE "bolsa plástica"	19,8180	0.1820	Consumo de polímero
	R5	30	LDPE "bolsa plástica"	19,9510	0.0490	Consumo de polímero
CONTROL 3		30	Dieta a base de (zanahoria y papa)			

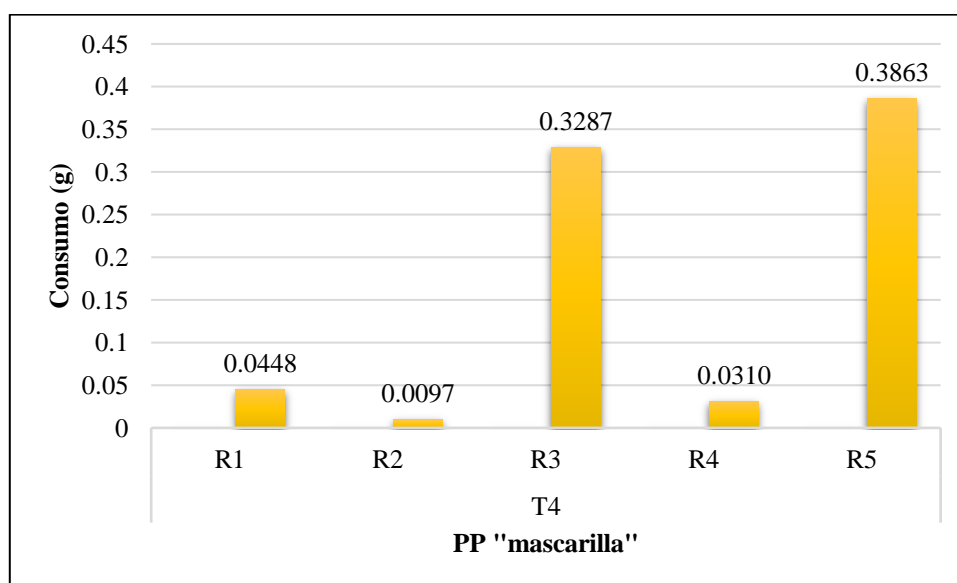
Anexo 9. Control de masa para 1 mes del LDPE “bolsa plástica”



Anexo 10. Control de masa del PP “Mascarilla quirúrgica” durante 1 mes.

Tratamiento	Repetición	Número de larvas	Tipo de polímero	Peso final al 1º mes (g)	Consumo de polímero (g)	Observación
T4	R1	30	PP "mascarilla quirúrgica"	19,9552	0.0448	Consumo de polímero
	R2	30	PP "mascarilla quirúrgica"	19,9903	0.0097	Consumo de polímero
	R3	30	PP "mascarilla quirúrgica"	19,6713	0.3287	Consumo de polímero
	R4	30	PP "mascarilla quirúrgica"	19,9690	0.0310	Consumo de polímero
	R5	30	PP "mascarilla quirúrgica"	19,6137	0.3863	Consumo de polímero
CONTROL 4		30	Dieta a base de (zanahoria y papa)			

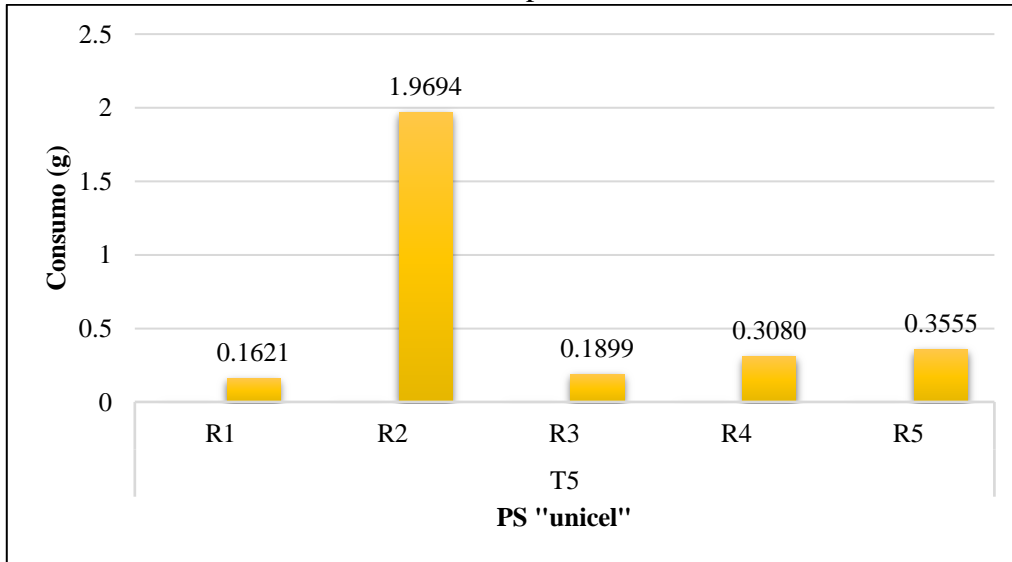
Anexo 11. Control de masa para 1 mes del PP “Mascarilla quirúrgica”.



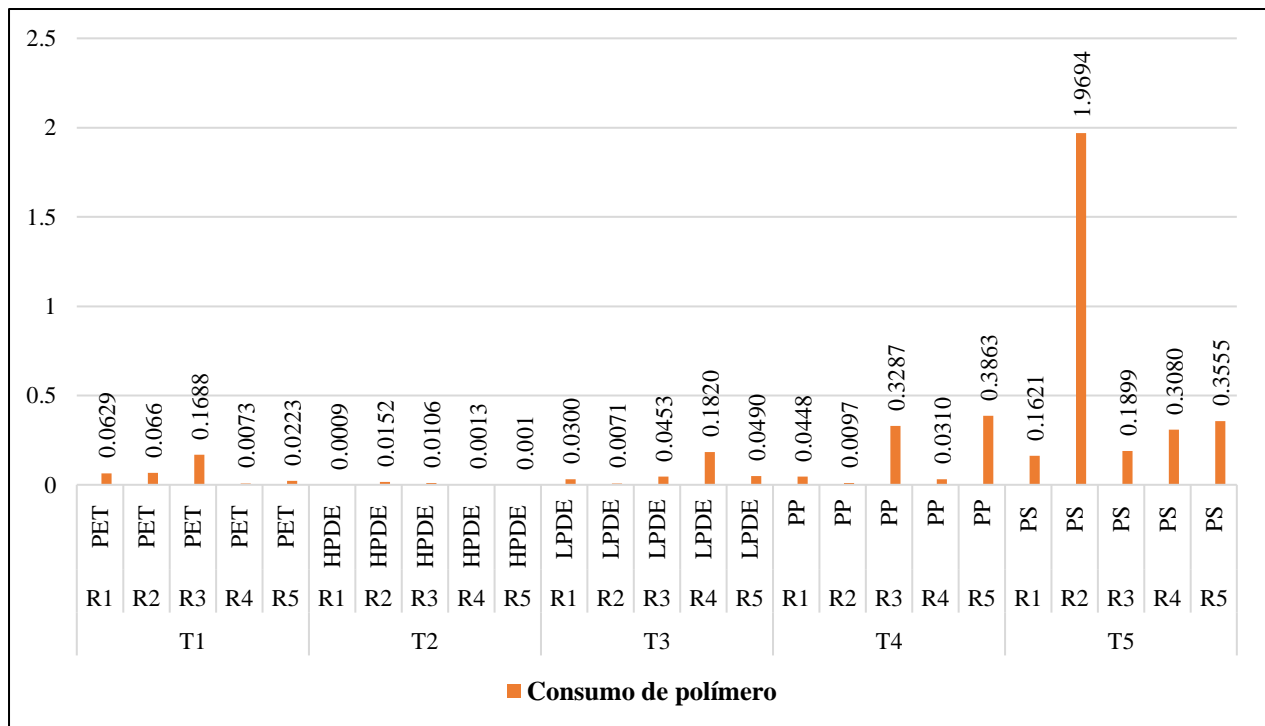
Anexo 12. Control de masa del PS “unicel” durante 1 mes.

Tratamiento	Repetición	Número de larvas	Tipo de polímero	Peso final al 1º mes (g)	Consumo de polímero (g)	Observación
T5	R1	30	PS "unicel"	19,8379	0.1621	Consumo de polímero
	R2	30	PS "unicel"	18,0306	1.9694	Consumo de polímero
	R3	30	PS "unicel"	19,8101	0.1899	Consumo de polímero
	R4	30	PS "unicel"	19,6920	0.3080	Consumo de polímero
	R5	30	PS "unicel"	19,6445	0.3555	Consumo de polímero
CONTROL 5		30	Dieta a base de (zanahoria y papa)			

Anexo 13. Control de masa para 1 mes del PS "unicel"



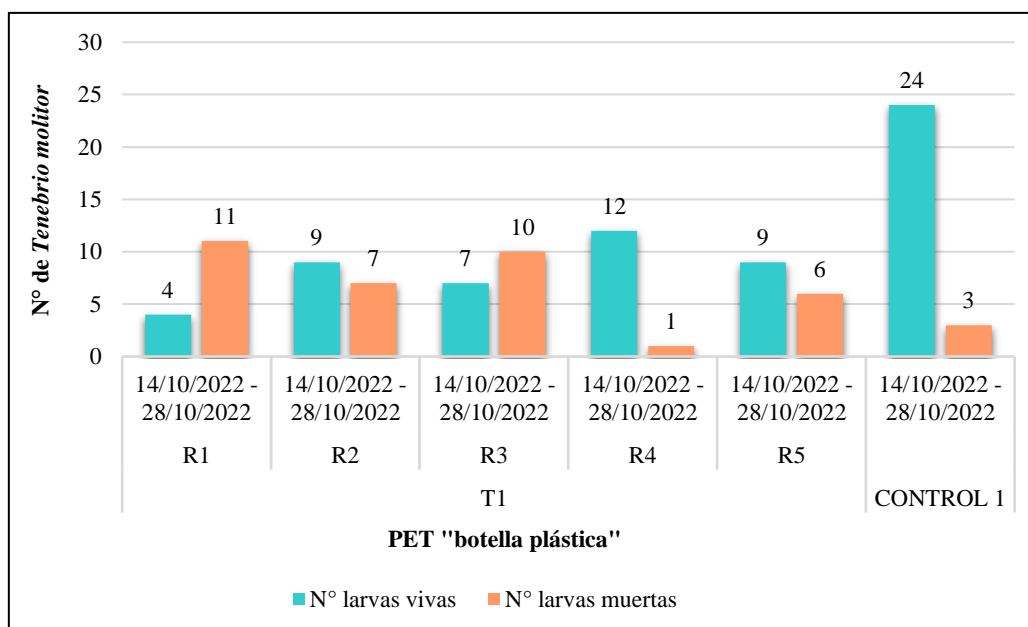
Anexo 14. Consumo de polímero en 1 mes de los cinco tratamientos.



Anexo 15. Tasa de supervivencia de *Tenebrio molitor* ante 1 mes de PET “botella plástica”

Tratamiento	Repetición	Fecha	Tiempo (días)	N° larvas vivas	N° larvas muertas	Cambio de fase	Observación
T1	R1	14/10/2022 - 28/10/2022	30	4	11	Escarabajos 2, pupas 0 y 2 larvas	canibalismo
	R2	14/10/2022 - 28/10/2022	30	9	7	Escarabajos 5, pupas 0 y 4 larvas	canibalismo
	R3	14/10/2022 - 28/10/2022	30	7	10	Escarabajos 5, pupas 0 y 2 larvas	canibalismo
	R4	14/10/2022 - 28/10/2022	30	12	1	Escarabajos 3, pupas 6 y 2 larvas	canibalismo
	R5	14/10/2022 - 28/10/2022	30	9	6	Escarabajos 4, pupas 1 y 4 larvas	canibalismo
CONTROL 1		14/10/2022 - 28/10/2022	30	24	3	Escarabajos 20, pupas 0 y 4 larvas	canibalismo

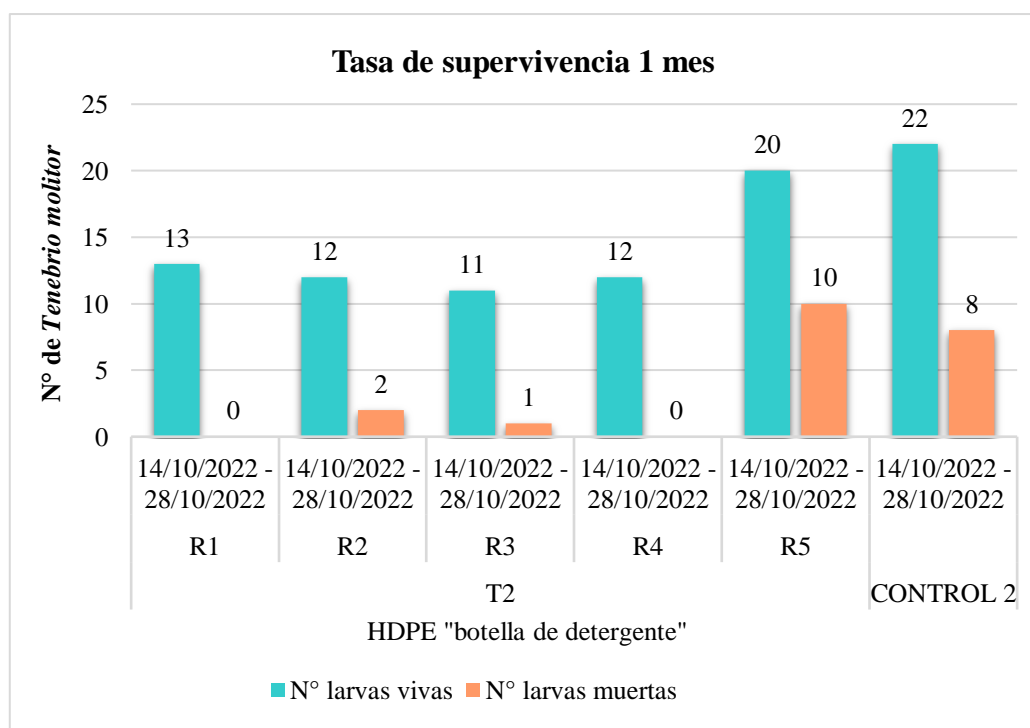
Anexo 16. Tasa de supervivencia de 1 mes ante PET “botella plástica”.



Anexo 17. Tasa de supervivencia de *Tenebrio molitor* ante 1 mes de HDPE “botella de detergente”.

Tratamiento	Repetición	Fecha	Tiempo (días)	Nº larvas vivas	Nº larvas muertas	Cambio de fase	Observación
T2	R1	14/10/2022 - 28/10/2022	30	13	0	Escarabajos 5, pupas 2 y 6 larvas	canibalismo
	R2	14/10/2022 - 28/10/2022	30	12	2	Escarabajos 6, pupas 0 y 6 larvas	canibalismo
	R3	14/10/2022 - 28/10/2022	30	11	1	Escarabajos 8, pupas 0 y 3 larvas	canibalismo
	R4	14/10/2022 - 28/10/2022	30	12	0	Escarabajos 1, pupas 0 y 5 larvas	canibalismo
	R5	14/10/2022 - 28/10/2022	30	20	10	Escarabajos 7, pupas 1 y 12 larvas	canibalismo
CONTROL 2		14/10/2022 - 28/10/2022	30	22	8	Escarabajos 5, pupas 3 y 8 larvas	canibalismo

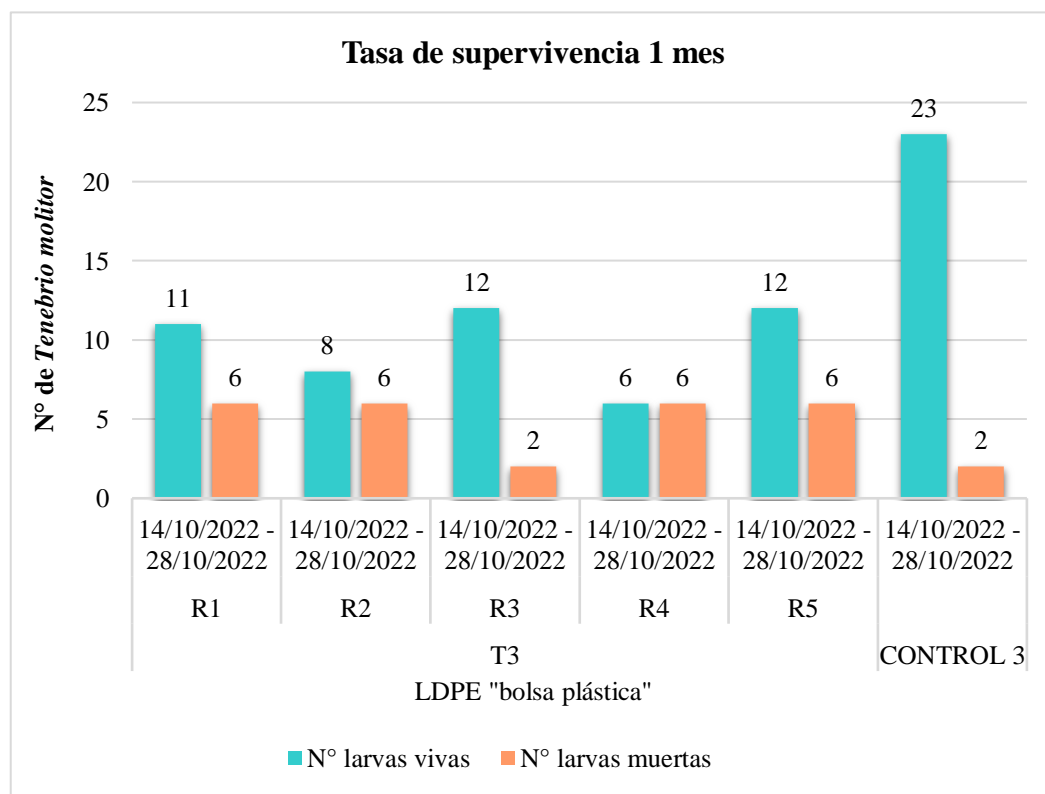
Anexo 18. Tasa de supervivencia de 1 mes ante HDPE “botella de detergente”.



Anexo 19. Tasa de supervivencia de *Tenebrio molitor* ante 1 mes de LDPE “bolsa plástica”.

Tratamiento	Repetición	Fecha	Tiempo (días)	Nº larvas vivas	Nº larvas muertas	Cambio de fase	Observación
T3	R1	14/10/2022 - 28/10/2022	30	11	6	Escarabajos 6, pupas 1 y 4 larvas	canibalismo
	R2	14/10/2022 - 28/10/2022	30	8	6	Escarabajos 4, pupas 0 y 4 larvas	canibalismo
	R3	14/10/2022 - 28/10/2022	30	12	2	Escarabajos 8, pupas 1 y 3 larvas	canibalismo
	R4	14/10/2022 - 28/10/2022	30	6	6	Escarabajos 3, pupas 2 y 1 larva	canibalismo
	R5	14/10/2022 - 28/10/2022	30	12	6	Escarabajos 6, pupas 1 y 5 larvas	canibalismo
CONTROL 3		14/10/2022 - 28/10/2022	30	23	2	Escarabajos 15, pupas 3 y 6 larvas	normal

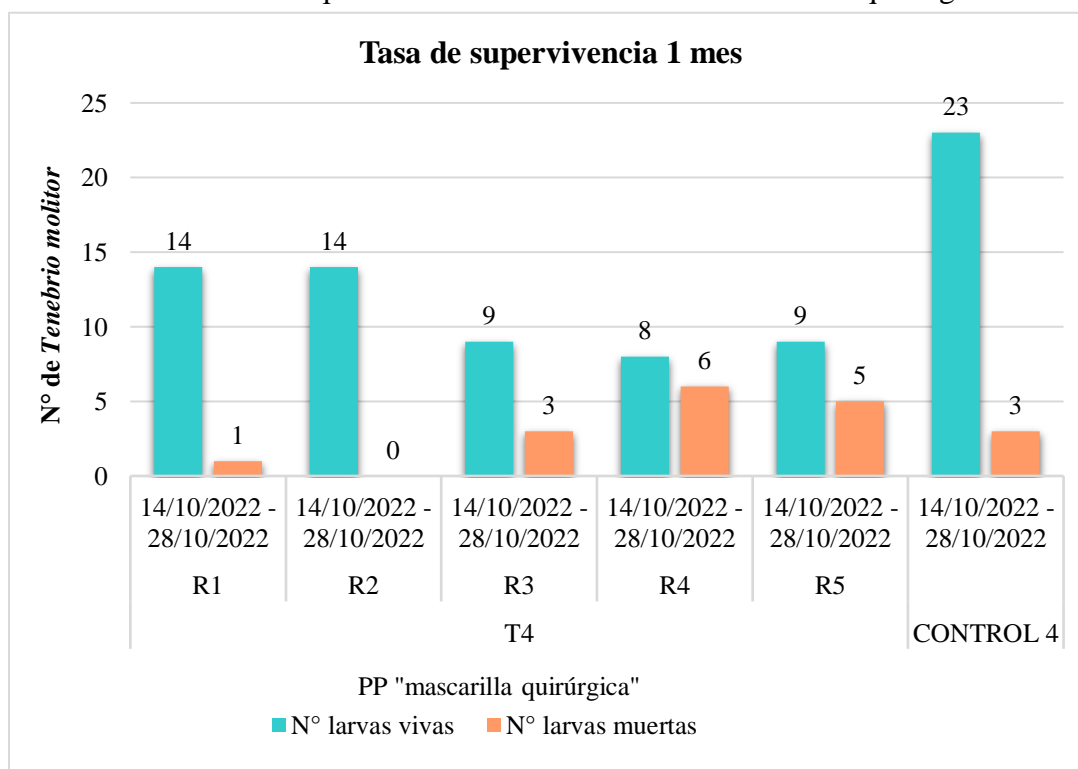
Anexo 20. Tasa de supervivencia de 1 mes ante LDPE “bolsa plástica”.



Anexo 21. Tasa de supervivencia de *Tenebrio molitor* ante 1 mes de PP “Mascarilla quirúrgica”.

Tratamiento	Repetición	Fecha	Tiempo (días)	N° larvas vivas	N° larvas muertas	Cambio de fase	Observación
T4	R1	14/10/2022 - 28/10/2022	30	14	1	Escarabajos 2, pupas 0 y 12 larvas	canibalismo
	R2	14/10/2022 - 28/10/2022	30	14	0	Escarabajos 1, pupas 1 y 12 larvas	canibalismo
	R3	14/10/2022 - 28/10/2022	30	9	3	Escarabajos 7, pupas 1 y 1 larvas	canibalismo
	R4	14/10/2022 - 28/10/2022	30	8	6	Escarabajos 3, pupas 0 y 5 larva	canibalismo
	R5	14/10/2022 - 28/10/2022	30	9	5	Escarabajos 1, pupas 0 y 7 larvas	canibalismo
CONTROL 4		14/10/2022 - 28/10/2022	30	23	3	Escarabajos 21, pupas 2 y 0 larvas	normal

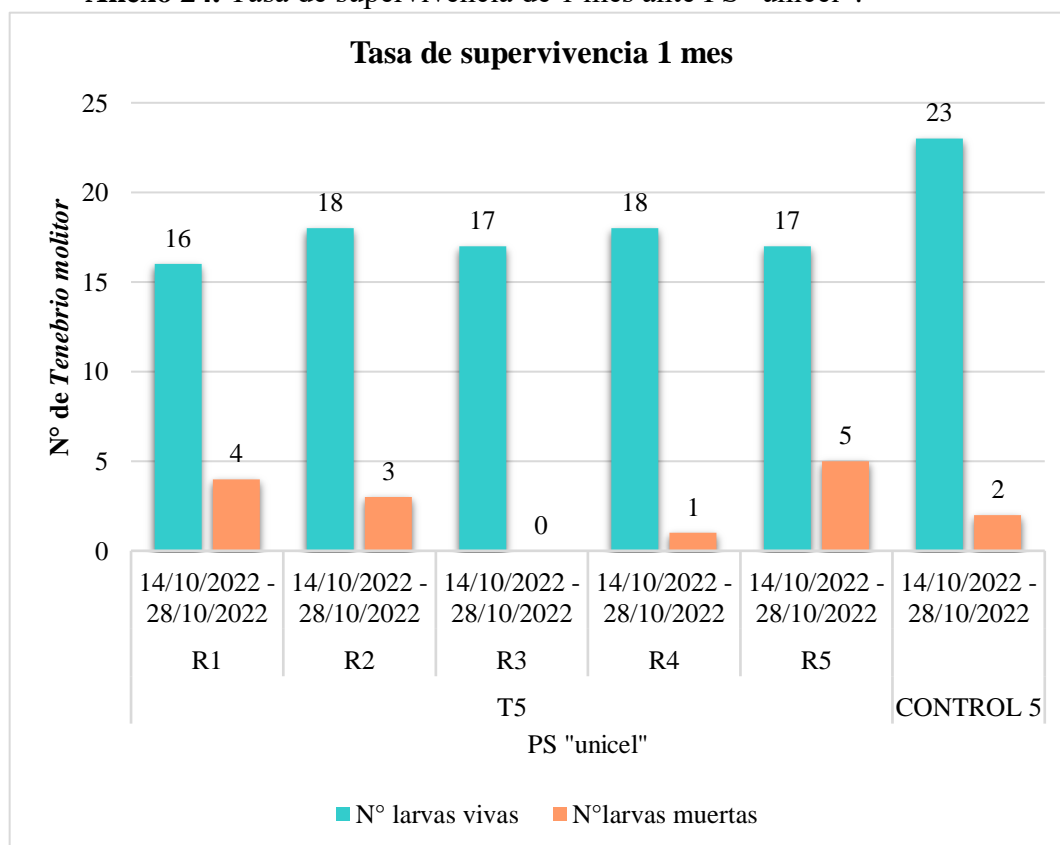
Anexo 22. Tasa de supervivencia de 1 mes ante PP “mascarilla quirúrgica”.



Anexo 23. Tasa de supervivencia de *Tenebrio molitor* ante 1 mes de PS “Unicel”.

Tratamiento	Repetición	Fecha	Tiempo (días)	N° larvas vivas	N° larvas muertas	Cambio de fase	Observación
T5	R1	14/10/2022 -	30	16	4	Escarabajos 3, pupas 2 y 11 larvas	normal
	R2	14/10/2022 -	30	18	3	Escarabajos 5, pupas 0 y 13 larvas	canibalismo
	R3	14/10/2022 -	30	17	0	Escarabajos 7, pupas 0 y 11 larvas	canibalismo
	R4	14/10/2022 -	30	18	1	Escarabajos 8, pupas 0 y 10 larvas	canibalismo
	R5	14/10/2022 -	30	17	5	Escarabajos 7, pupas 1 y 9 larvas	canibalismo
CONTROL 5		14/10/2022 -	30	23	2	Escarabajos 7, pupas 2 y 14 larvas	normal

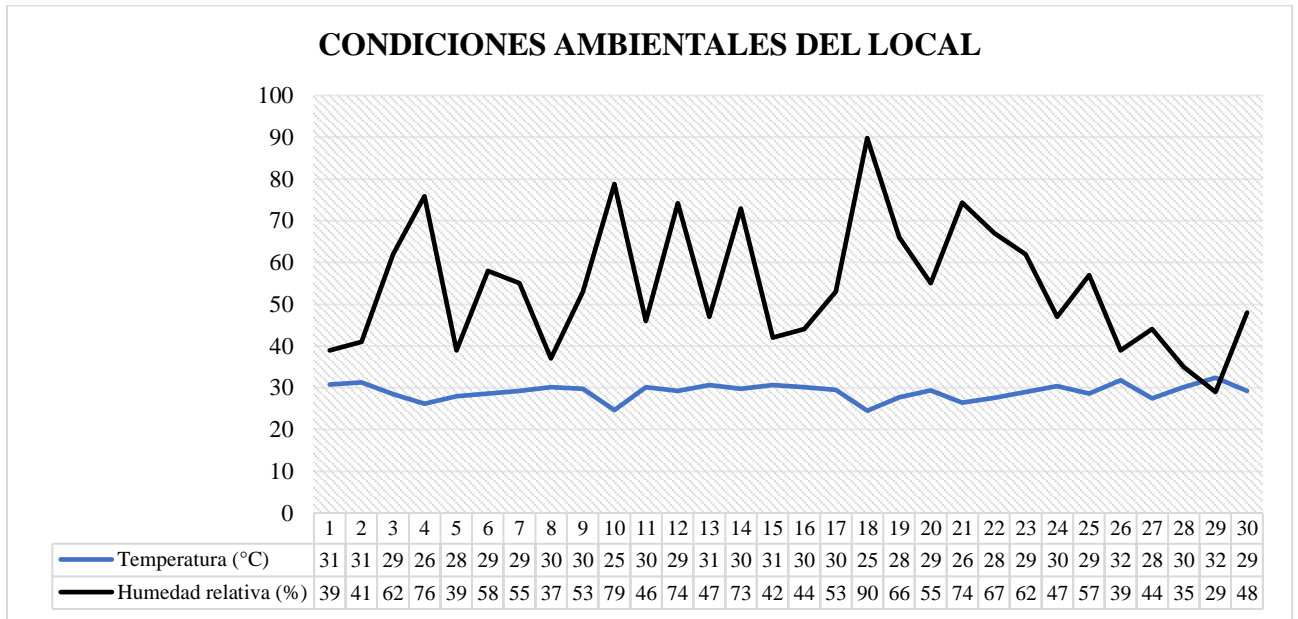
Anexo 24. Tasa de supervivencia de 1 mes ante PS “unicel”.



Anexo 25. Ficha de control de las condiciones ambiental del laboratorio en 1 mes.

Fecha	Día	Temperatura (°C)	Humedad relativa (%)	Observación
28/09/2022	1	30,8	39	Se midió a la 5:00 pm de la tarde
29/09/2022	2	31,3	41	Se midió a la 5:00 pm de la tarde
30/09/2022	3	28,5	62	Se midió a la 10:00 am de la mañana
1/10/2022	4	26,2	75.9	Se midió a la 10:00 am de la mañana
2/10/2022	5	28	39	Se midió a la 10:00 am de la mañana
3/10/2022	6	28,6	58	Se midió a la 10:00 am de la mañana
4/10/2022	7	29,2	55	Se midió a las 10:00 am de la mañana
5/10/2022	8	30,1	37	Se midió a las 10:00 am de la mañana
6/10/2022	9	29,8	53	Se midió a la 10:00 am de la mañana
7/10/2022	10	24,6	78.8	Se midió a la 10:00 am de la mañana
8/10/2022	11	30,2	46	Se midió a la 1:00 pm de la tarde
9/10/2022	12	29,2	74.2	Se midió a la 1:00 pm de la tarde
10/10/2022	13	30,6	47	Se midió a las 12:00 pm de la tarde
11/10/2022	14	29,8	72.9	Se midió a las 12:00 pm de la tarde
12/10/2022	15	30,6	42	Se midió a las 12:00 pm de la tarde
13/10/2022	16	30,2	44	Se midió a las 12:00 pm de la tarde
14/10/2022	17	29,5	53	Se midió a las 12:00 pm de la tarde
15/10/2022	18	24,5	89.8	Se midió a las 10:00 am de la mañana
16/10/2022	19	27,7	66	Se midió a las 10:00 am de la mañana
17/10/2022	20	29,4	55	Se midió a las 10:00 am de la mañana
18/10/2022	21	26,4	74.3	Se midió a las 10:00 am de la mañana
19/10/2022	22	27,6	67	Se midió a las 10:00 am de la mañana
20/10/2022	23	29	62	Se midió a las 10:00 am de la mañana
21/10/2022	24	30,4	47	Se midió a las 10:00 am de la mañana
22/10/2022	25	28,6	57	Se midió a las 10:00 am de la mañana
23/10/2022	26	31,8	39	Se midió a las 10:00 am de la mañana
24/10/2022	27	27,5	44	Se midió a las 10:00 am de la mañana
25/10/2022	28	30,1	35	Se midió a las 10:00 am de la mañana
26/10/2022	29	32,4	29	Se midió a las 10:00 am de la mañana
27/10/2022	30	29,2	48	Se midió a las 10:00 am de la mañana

Anexo 26. Control de las condiciones ambiental del laboratorio en 1 mes.

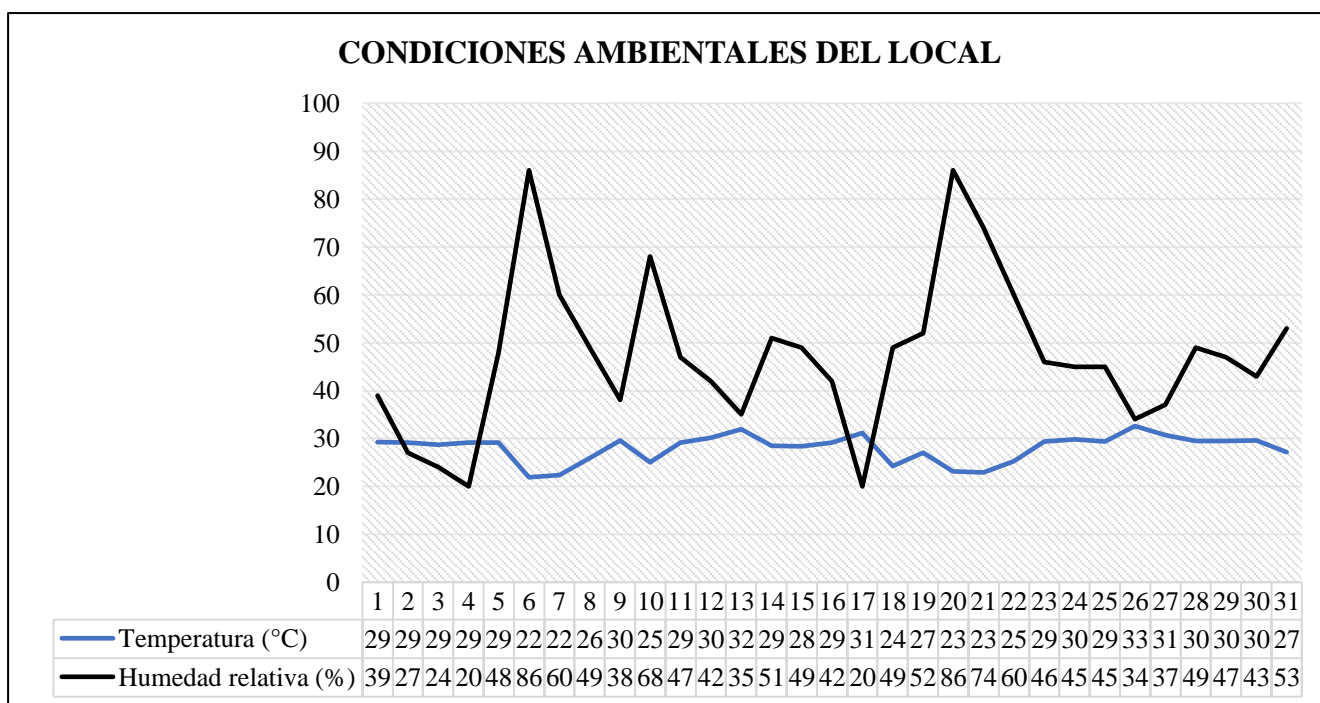


Anexo 27. Ficha de control de las condiciones ambiental del laboratorio en 2 meses.

Fecha	Día	Temperatura (°C)	Humedad relativa (%)	Observación
28/10/2022	1	29,3	39	Se midió a las 10:00 am de la mañana
29/10/2022	2	29,1	27	Se midió a las 10:00 am de la mañana
30/10/2022	3	28,7	24	Se midió a las 10:00 am de la mañana
31/10/2022	4	29,1	20	Se midió a las 10:00 am de la mañana
1/11/2022	5	29,1	48	Se midió a las 10:00 am de la mañana
2/11/2022	6	21,9	86	Se midió a las 10:00 am de la mañana
3/11/2022	7	22,4	60	Se midió a las 10:00 am de la mañana
4/11/2022	8	25,9	49	Se midió a las 10:00 am de la mañana
5/11/2022	9	29,6	38	Se midió a las 10:00 am de la mañana
6/11/2022	10	25	68	Se midió a las 10:00 am de la mañana
7/11/2022	11	29,1	47	Se midió a las 10:00 am de la mañana
8/11/2022	12	30,1	42	Se midió a las 10:00 am de la mañana
9/11/2022	13	31,9	35	Se midió a las 11:00 am de la mañana
10/11/2022	14	28,5	51	Se midió a las 12:00 pm de la mañana
11/11/2022	15	28,4	49	Se midió a las 12:00 pm de la mañana
12/11/2022	16	29,2	42	Se midió a las 12:00 pm de la mañana
13/11/2022	17	31,1	20	Se midió a las 12:00 pm de la mañana
14/11/2022	18	24,3	49	Se midió a las 10:00 am de la mañana
15/11/2022	19	27	52	Se midió a las 10:00 am de la mañana

16/11/2022	20	23,1	86	Se midió a las 10:00 am de la mañana
17/11/2022	21	22,9	74	Se midió a las 10:00 am de la mañana
18/11/2022	22	25,3	60	Se midió a las 10:00 am de la mañana
19/11/2022	23	29,4	46	Se midió a las 10:00 am de la mañana
20/11/2022	24	29,8	45	Se midió a las 10:00 am de la mañana
21/11/2022	25	29,4	45	Se midió a las 10:00 am de la mañana
22/11/2022	26	32,6	34	Se midió a las 12:00 pm de la mañana
23/11/2022	27	30,7	37	Se midió a las 11:00 am de la mañana
24/11/2022	28	29,5	49	Se midió a las 11:00 am de la mañana
25/11/2022	29	29,5	47	Se midió a las 11:00 am de la mañana
26/11/2022	30	29,6	43	Se midió a las 11:00 am de la mañana
27/11/2022	31	27,1	53	Se midió a las 10:00 am de la mañana

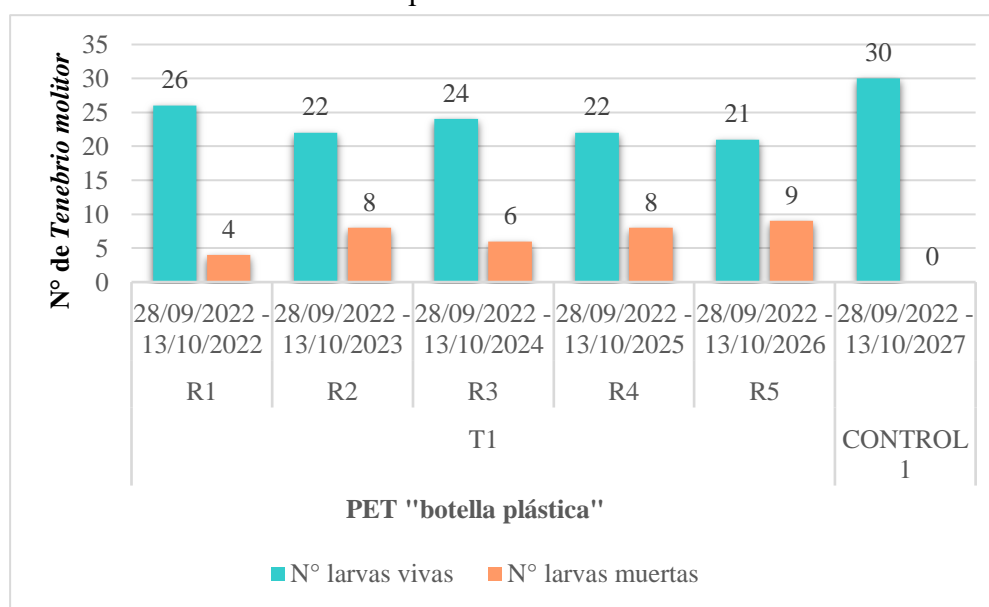
Anexo 28. Control de las condiciones ambientales del mes



Anexo 29. Control de tasa de supervivencia de *Tenebrio molitor* ante PET “botella plástica” a 15 días.

Tratamiento	Repetición	Fecha	Tiempo (días)	Nº larvas vivas	Nº larvas muertas	Cambio de fase	Observación
T1	R1	28/09/2022 - 13/10/2022	15	26	4	Escarabajos 19, pupas 0 y 7 larvas	canibalismo
	R2	28/09/2022 - 13/10/2023	15	22	8	Escarabajos 13, pupas 2 y 7 larvas	canibalismo
	R3	28/09/2022 - 13/10/2024	15	24	6	Escarabajos 18, pupas 1 y 5 larvas	canibalismo
	R4	28/09/2022 - 13/10/2025	15	22	8	Escarabajos 2, pupas 2 y 18 larvas	canibalismo
	R5	28/09/2022 - 13/10/2026	15	21	9	Escarabajos 13, pupas 2 y 6 larvas	canibalismo
CONTROL 1		28/09/2022 - 13/10/2027	15	30	0	Escarabajos 12, pupas 10 y 8 larvas	normal

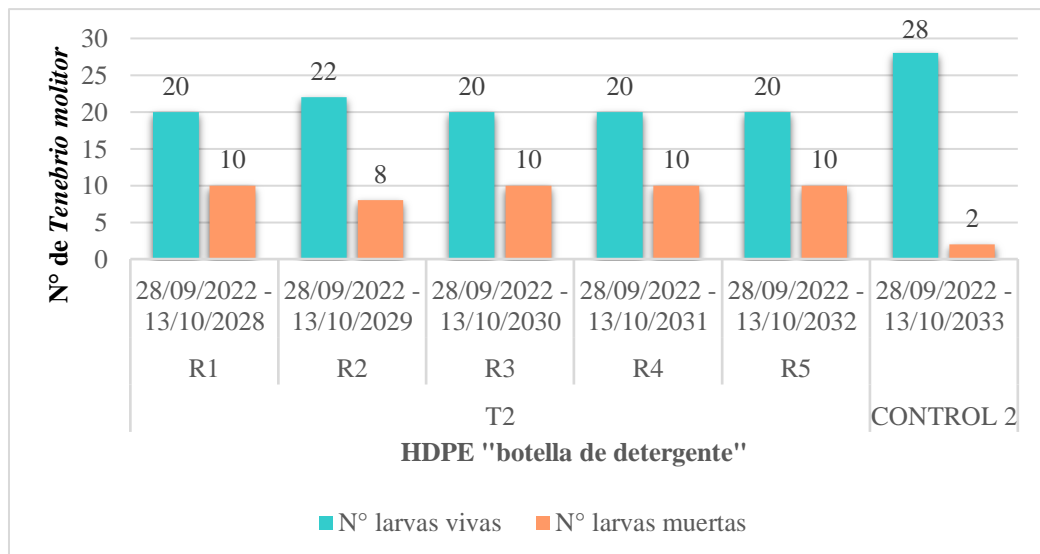
Anexo 30. Tasa de supervivencia de *Tenebrio molitor* 15 días ante PET “botella plástica”



Anexo 31. Control de tasa de supervivencia de *Tenebrio molitor* ante HDPE “botella de detergente” a 15 días.

Tratamiento	Repeticio n	Fecha	Tiemp o (días)	Nº larva s vivas	Nº larvas muerta s	Cambio de fase	Observació n
T2	R1	28/09/2022 - 13/10/2028	15	20	10	Escarabajos 5, pupas 2 y 13 larvas	canibalismo
	R2	28/09/2022 - 13/10/2029	15	22	8	Escarabajos 6, pupas 3 y 13 larvas	canibalismo
	R3	28/09/2022 - 13/10/2030	15	20	10	Escarabajos 10, pupas 2 y 8 larvas	canibalismo
	R4	28/09/2022 - 13/10/2031	15	20	10	Escarabajos 5, pupas 0 y 15 larvas	canibalismo
	R5	28/09/2022 - 13/10/2032	15	20	10	Escarabajos 7, pupas 1 y 12 larvas	canibalismo
CONTROL 2		28/09/2022 - 13/10/2033	15	28	2	Escarabajos 5, pupas 10 y 13 larvas	canibalismo

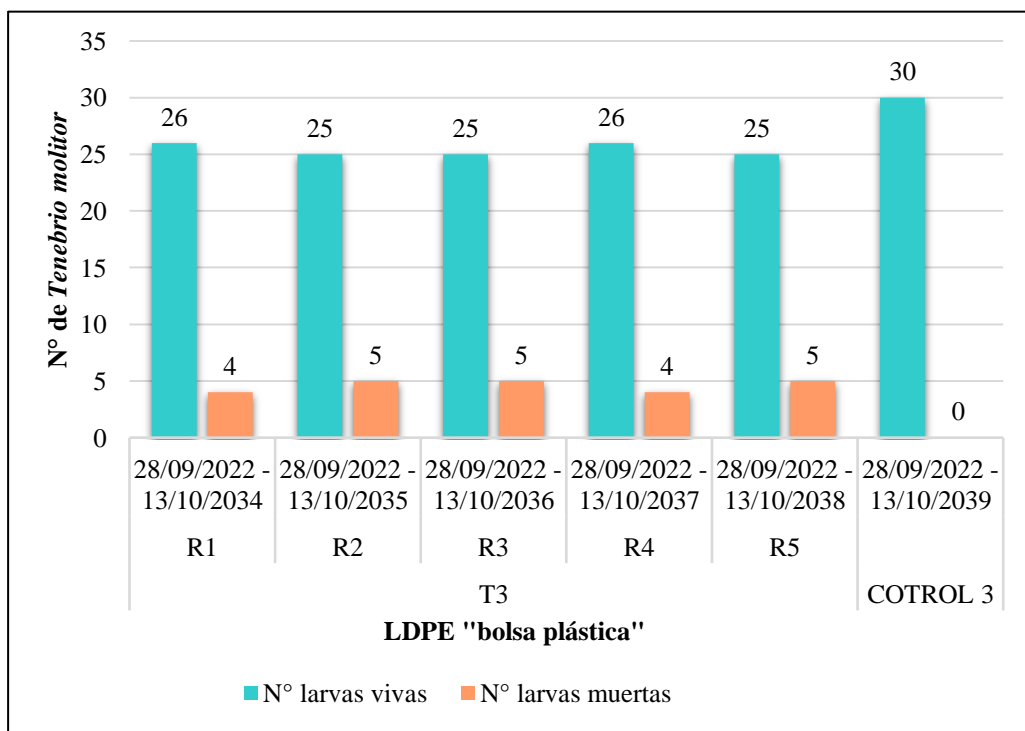
Anexo 32. Tasa de supervivencia de *Tenebrio molitor* ante HDPE “botella de detergente” a 15 días.



Anexo 33. Control de tasa de supervivencia de *Tenebrio molitor* ante LDPE “bolsa plástica” a 15 días.

Tratamiento	Repetición	Fecha	Tiempo (días)	Nº larvas vivas	Nº larvas muertas	Cambio de fase	Observación
T3	R1	28/09/2022 - 13/10/2034	15	26	4	Escarabajos 14, pupas 2 y 10 larvas	canibalismo
	R2	28/09/2022 - 13/10/2035	15	25	5	Escarabajos 13, pupas 3 y 9 larvas	canibalismo
	R3	28/09/2022 - 13/10/2036	15	25	5	Escarabajos 11, pupas 1 y 13 larvas	canibalismo
	R4	28/09/2022 - 13/10/2037	15	26	4	Escarabajos 10, pupas 8 y 8 larvas	canibalismo
	R5	28/09/2022 - 13/10/2038	15	25	5	Escarabajos 14, pupas 2 y 9 larvas	canibalismo
CONTROL 3		28/09/2022 - 13/10/2039	15	30	0	Escarabajos 9, pupas 7 y 14 larvas	normal

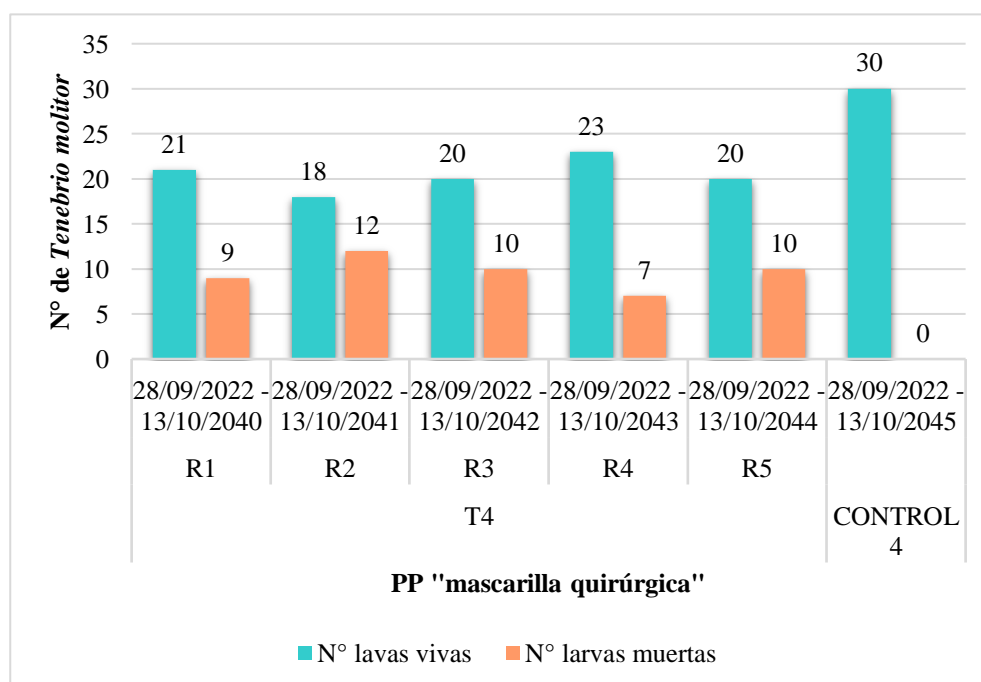
Anexo 34. Tasa de supervivencia de *Tenebrio molitor* 15 días ante LDPE “bolsa plástica”.



Anexo 35. Control de tasa de supervivencia de *Tenebrio molitor* ante PP “mascarilla quirúrgica” a 15 días.

Tratamiento	Repetición	Fecha	Tiempo (días)	Nº larvas vivas	Nº larvas muertas	Cambio de fase	Observación
T4	R1	28/09/2022 - 13/10/2040	15	21	9	Escarabajos 3, pupas 2 y 16 larvas	canibalismo
	R2	28/09/2022 - 13/10/2041	15	18	12	Escarabajos 1, pupas 2 y 15 larvas	canibalismo
	R3	28/09/2022 - 13/10/2042	15	20	10	Escarabajos 11, pupas 4 y 5 larvas	canibalismo
	R4	28/09/2022 - 13/10/2043	15	23	7	Escarabajos 16, pupas 3 y 4 larvas	canibalismo
	R5	28/09/2022 - 13/10/2044	15	20	10	Escarabajos 2, pupas 3 y 15 larvas	canibalismo
CONTROL 4		28/09/2022 - 13/10/2045	15	30	0	Escarabajos 12, pupas 13 y 5 larvas	normal

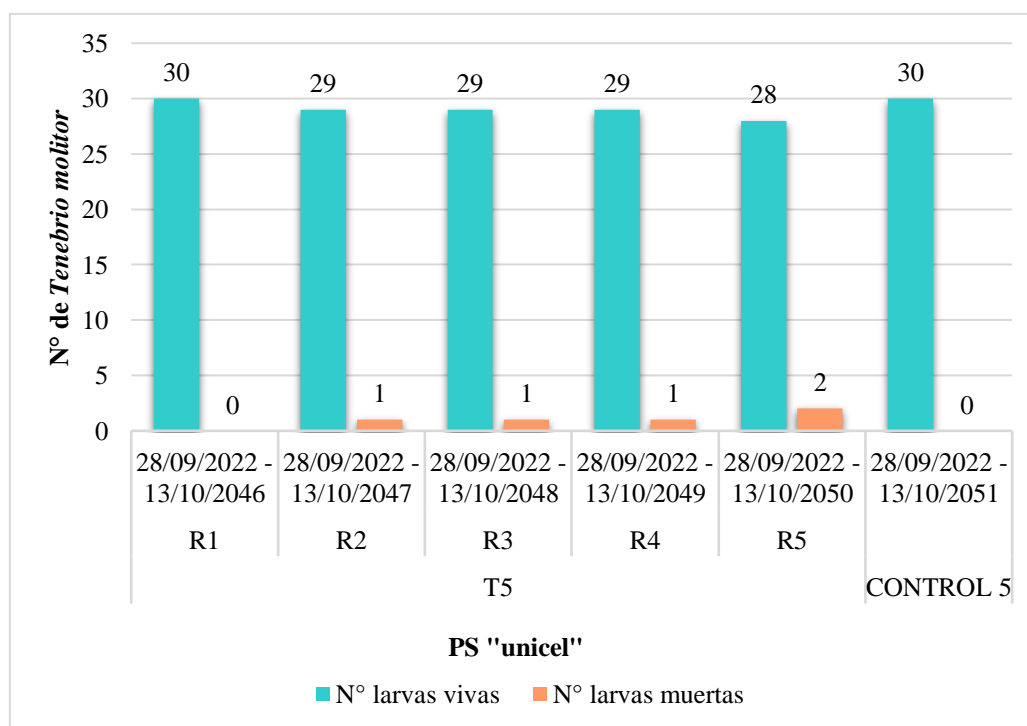
Anexo 36. Tasa de supervivencia de *Tenebrio molitor* 15 días ante PP “mascarilla quirúrgica” a 15 días.



Anexo 37. Control de tasa de supervivencia de *Tenebrio molitor* ante PS “unicel” a 15 días.

Tratamiento	Repetición	Fecha	Tiempo (días)	Nº larvas vivas	Nº larvas muertas	Cambio de fase	Observación
T5	R1	28/09/2022 - 13/10/2046	15	30	0	Escarabajos 11, pupas 3 y 16 larvas	normal
	R2	28/09/2022 - 13/10/2047	15	29	1	Escarabajos 12, pupas 2 y 15 larvas	canibalismo
	R3	28/09/2022 - 13/10/2048	15	29	1	Escarabajos 14, pupas 1 y 14 larvas	canibalismo
	R4	28/09/2022 - 13/10/2049	15	29	1	Escarabajos 8, pupas 3 y 18 larvas	canibalismo
	R5	28/09/2022 - 13/10/2050	15	28	2	Escarabajos 12, pupas 3 y 13 larvas	canibalismo
CONTROL 5		28/09/2022 - 13/10/2051	15	30	0	Escarabajos 8, pupas 7 y 15 larvas	normal

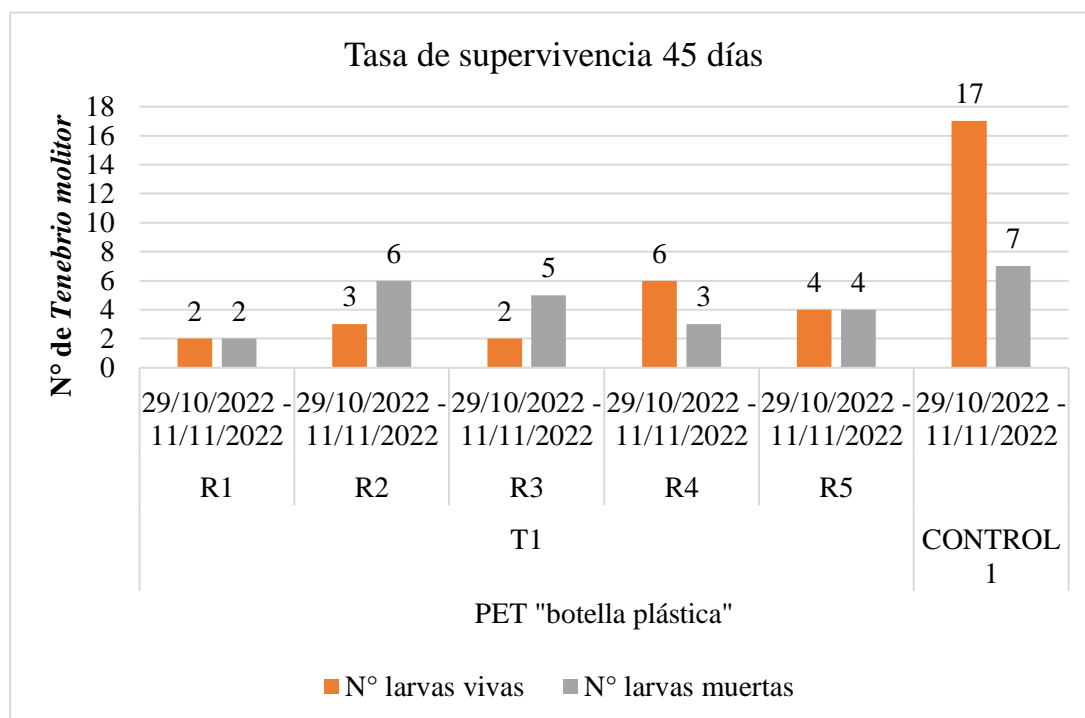
Anexo 38. Tasa de supervivencia de *Tenebrio molitor* 15 días ante PS “unicel”.



Anexo 39. Control de tasa de supervivencia de *Tenebrio molitor* ante PET “botella plástica” a 15 días.

Tratamiento	Repetición	Fecha	Tiempo (días)	Nº larvas vivas	Nº larvas muertas	Cambio de fase	Observación
T1	R1	28/10/2022	45	2	2	2 larvas	normal
		11/11/2022					
	R2	28/10/2022	45	3	6	3 larvas	normal
		11/11/2022					
	R3	28/10/2022	45	2	5	2 larvas	normal
		11/11/2022					
	R4	28/10/2022	45	6	3	2 larvas y 4 escarabajos	canibalismo
		11/11/2022					
	R5	28/10/2022	45	4	4	Escarabajos 1 y 3 larvas	canibalismo
		11/11/2022					
CONTROL 1		28/10/2022	45	17	7	Escarabajos 15 y 2 larvas	normal
		11/11/2022					

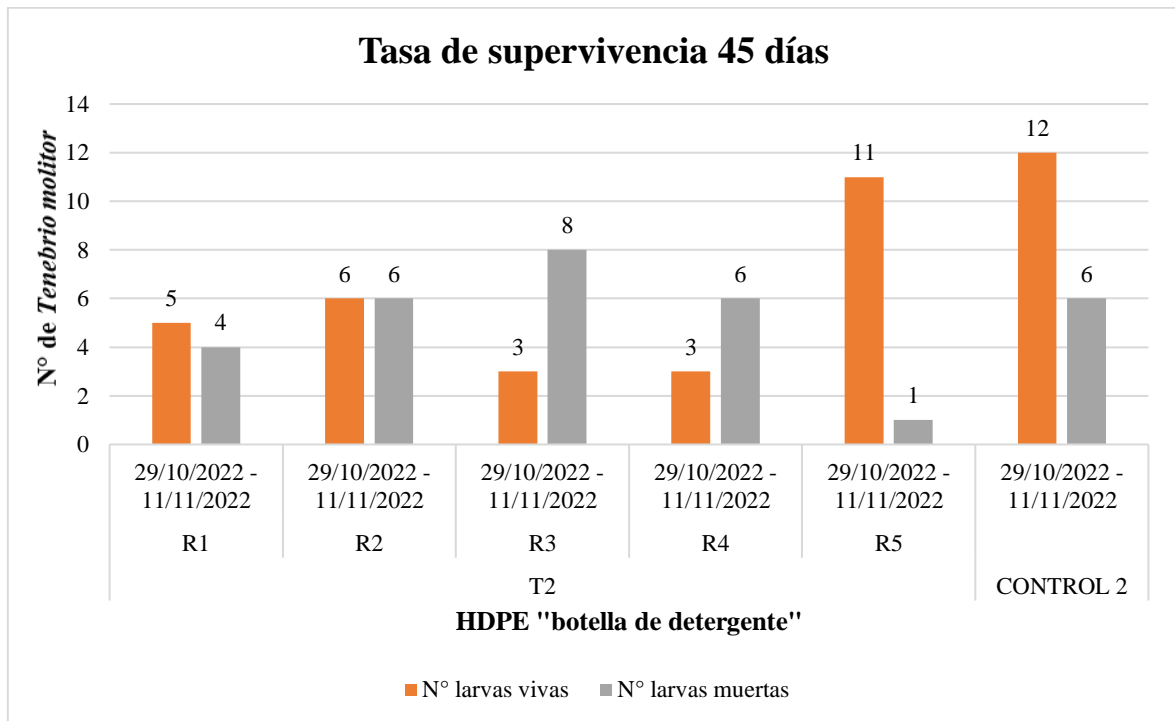
Anexo 40. Tasa de supervivencia 45 días del PET “botella plástica”.



Anexo 41. Control de tasa de supervivencia de *Tenebrio molitor* ante HDPE “botella de detergente” a 45 días.

Tratamiento	Repetición	Fecha	Tiempo (días)	Nº larvas vivas	Nº larvas muertas	Cambio de fase	Observación
T2	R1	28/10/2022 - 11/11/2022	45	5	4	Escarabajos 1 y 5 larvas	canibalismo
	R2	28/10/2022 - 11/11/2022	45	6	6	6 larvas	normal
	R3	28/10/2022 - 11/11/2022	45	3	8	Larvas 3	normal
	R4	28/10/2022 - 11/11/2022	45	3	6	Larvas 3	canibalismo
	R5	28/10/2022 - 11/11/2022	45	11	1	Larvas 11	normal
CONTROL 2		28/10/2022 - 11/11/2022	45	12	6	Escarabajos 6 y larvas 6	canibalismo

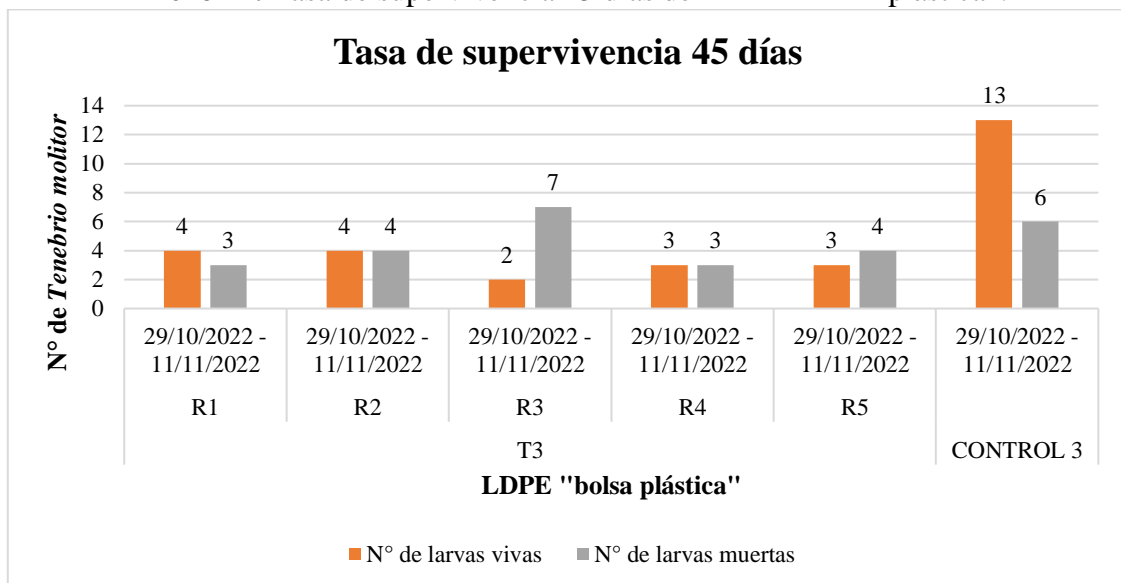
Anexo 42. Tasa de supervivencia 45 días del HDPE “botella de detergente”.



Anexo 43. Control de tasa de supervivencia de *Tenebrio molitor* ante LDPE “bolsa plástica” a 45 días.

Tratamiento	Repetición	Fecha	Tiempo (días)	Nº larvas vivas	Nº larvas muertas	Cambio de fase	Observación
T3	R1	28/10/2022	45	4	3	Larvas 4	canibalismo
		11/11/2022					
	R2	28/10/2022	45	4	4	Larvas 4	normal
		11/11/2022					
	R3	28/10/2022	45	2	7	Escarabajo 1 y larva 1	canibalismo
		11/11/2022					
	R4	28/10/2022	45	3	3	Larvas 3	normal
		11/11/2022					
	R5	28/10/2022	45	3	4	Larva 3	canibalismo
		11/11/2022					
CONTROL 3		28/10/2022	45	13	6	Escarabajos 12 y 1 larvas	canibalismo
		11/11/2022					

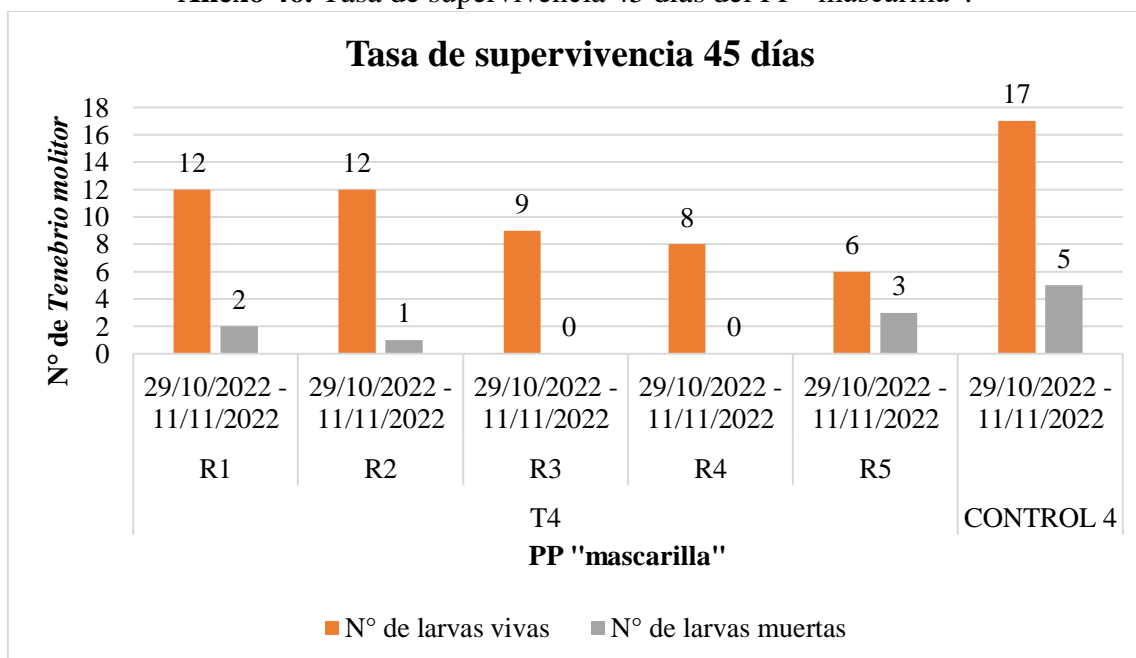
Anexo 44. Tasa de supervivencia 45 días del LDPE “bolsa plástica”.



Anexo 45. Control de tasa de supervivencia de *Tenebrio molitor* ante PP “mascarilla quirúrgica” a 45 días.

Tratamiento	Repetición	Fecha	Tiempo (días)	N° larvas vivas	N° larvas muertas	Cambio de fase	Observación
T4	R1	28/10/2022 -	45	12	2	Larvas 12	normal
	R2	28/10/2022 -	45	12	1	Larvas 12	canibalismo
	R3	28/10/2022 -	45	9	0	Escarabajos 8 y 1 larvas	normal
	R4	28/10/2022 -	45	8	0	Escarabajos 5 y 3 larvas	reproducción
	R5	28/10/2022 -	45	6	3	6 larvas	canibalismo
CONTROL 4		28/10/2022 -	45	17	5	Escarabajos 17	canibalismo

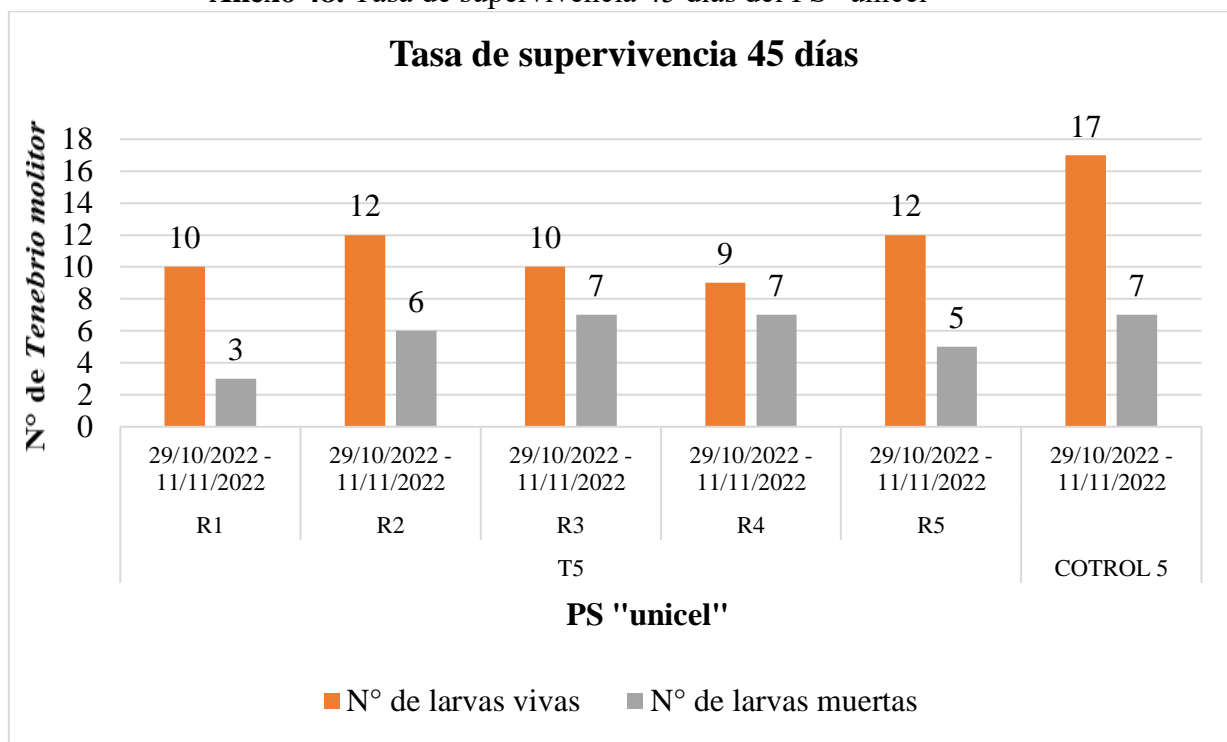
Anexo 46. Tasa de supervivencia 45 días del PP “mascarilla”.



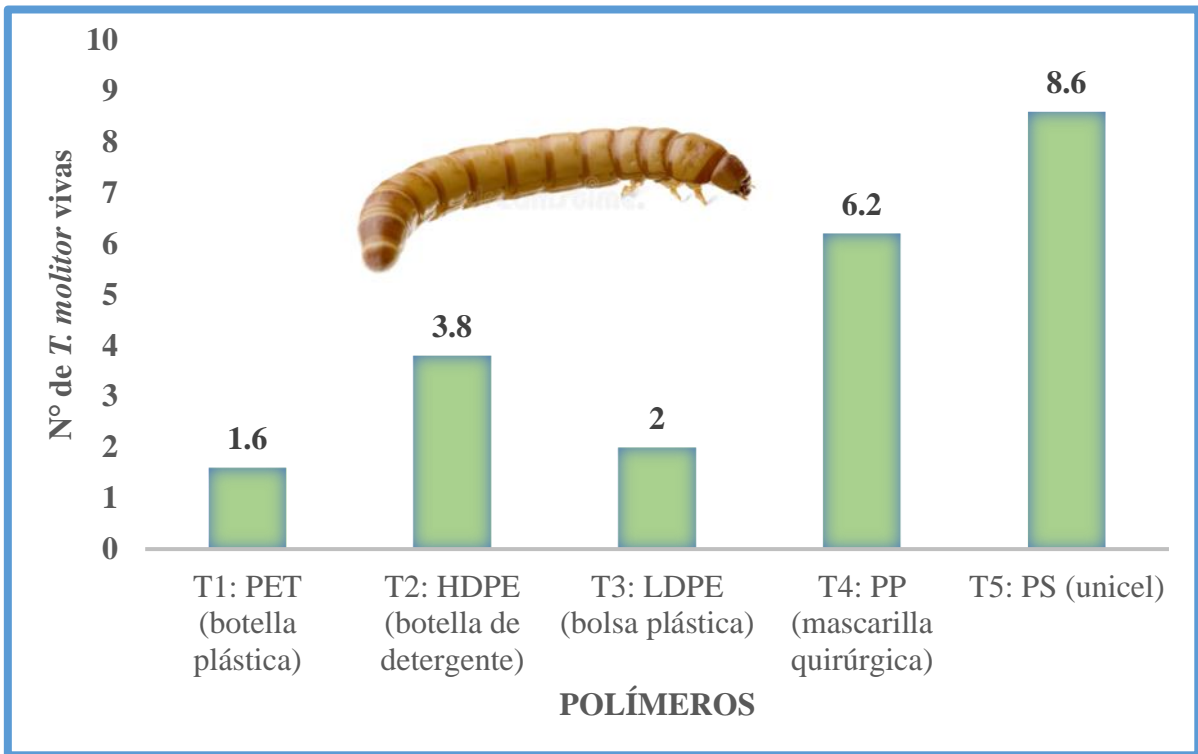
Anexo 47. Control de tasa de supervivencia de *Tenebrio molitor* ante PS a 45 días.

Tratamiento	Repetición	Fecha	Tiempo (días)	Nº larvas vivas	Nº larvas muertas	Cambio de fase	Observación
T5	R1	28/10/2022	45	10	3	Escarabajos 9 y larva	canibalismo
		11/11/2022					
	R2	28/10/2022	45	12	6	Larvas 12	normal
		11/11/2022					
	R3	28/10/2022	45	10	7	Larvas 10	canibalismo
		11/11/2022					
	R4	28/10/2022	45	9	7	Larvas 9	canibalismo
		11/11/2022					
	R5	28/10/2022	45	12	5	Larvas 12	normal
		11/11/2022					
CONTROL 5		28/10/2022	45	17	7	Escarabajos 8 y 9 larvas	canibalismo
		11/11/2022					

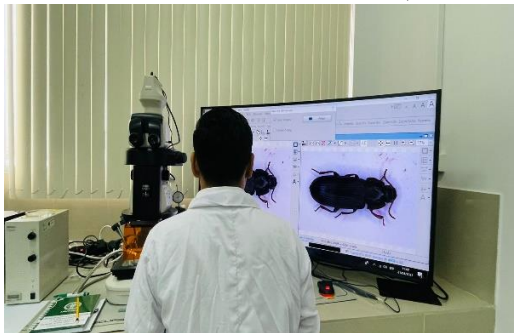
Anexo 48. Tasa de supervivencia 45 días del PS “unicel”



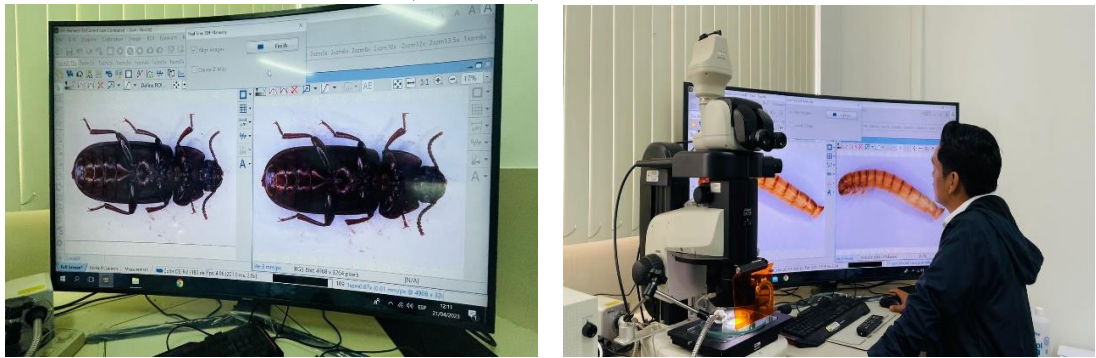
Anexo 49. Tasa de supervivencia de *T. molitor* a los 2 meses de consumo.



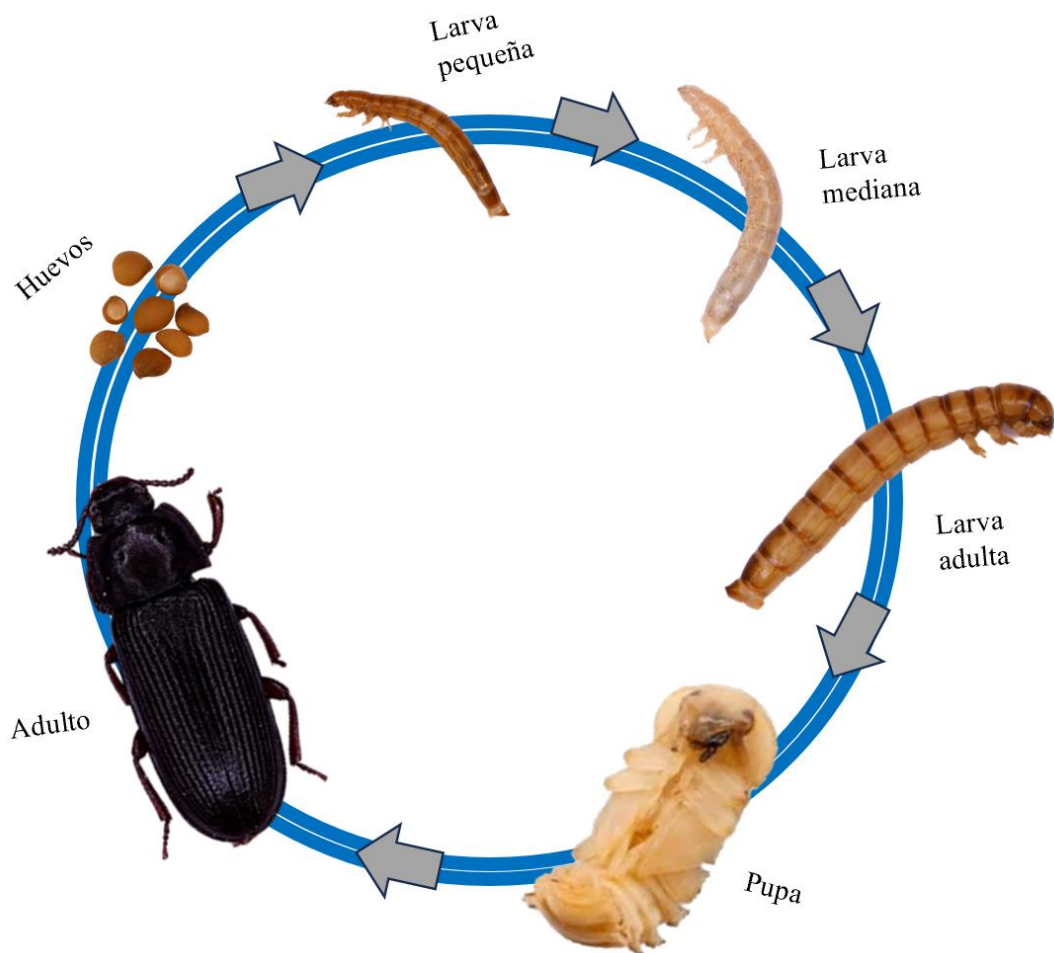
Anexo 50. Fotografías al *T. molitor* con microscopio estereoscópico Nikon SMZ18 acoplado a una cámara Nikon DS-Ri2 de la Universidad Toribio Rodríguez de Mendoza (UNTRM).



Anexo 51. Identificación de la especie de *Tenebrio molitor* en el laboratorio de (UNTRM).



Anexo 52. Instalares larvales del *Tenebrio molitor*.



Anexo 53. Canibalismo de *Tenebrio molitor*.



Anexo 54. Degradación de los polímeros por parte de *Tenebrio molitor*.



PET “botella plástica”



HDPE “bolsa plástica”



LDPE “botella de detergente”



PP “mascarilla quirúrgica”



PS “unicel”

Anexo 55. Peso inicial de 20 gr para los 5 tipos de polímeros trabajados.



Anexo 56. Los 5 tipos de polímeros (PET, HDPE, LDPE, PP Y PS).



Anexo 57. Suministro de dietas a base de polímeros para las muestras establecidas.



Anexo 58. Peso de las muestras para las dietas.



Anexo 59. Población y muestra de los *T. molitor*.



Anexo 60. Tratamientos y repeticiones listas para su degradación.



Anexo 61. Tratamientos y repeticiones listas para la evaluación.



Anexo 62. Monitoreo de los tratamientos y repeticiones.



Anexo 63. Observación de la degradación del uncel.



Anexo 64. Observación de los controles.



Anexo 65. Materiales utilizados para el trabajo de investigación.

