

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO

FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y DE RECURSOS
NATURALES

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y DE
RECURSOS NATURALES



**“LARVAS DE *Tenebrio molitor* CON SUSTRATOS
ORGÁNICOS EN LA BIODEGRADACIÓN DE RESIDUOS
DE POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS) A ESCALA DE
LABORATORIO, CALLAO 2023”**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES

DIAZ MENDEZ, MIGUEL ANGEL

POSADA DELGADO, JENNIFER CAROLAIN

POZO BRITO, STEFANO ANDREE

ASESOR: VIGO ROLDÁN, ABNER JOSUÉ

Línea de investigación: CIENCIAS DE LA TIERRA Y
MEDIOAMBIENTALES

Callao, 2023

PERÚ



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES
(Resolución N° 019-2021-CU del 20 de enero de 2021)



V CICLO TALLER DE TESIS

ANEXO 3

ACTA N° 003-2023 DE SUSTENTACIÓN DE TESIS CON CICLO DE TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES.

LIBRO 01 FOLIO No. 82 ACTA N°003-2023 DE SUSTENTACIÓN DE TESIS CON CICLO DE TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES.

A los 19 días del mes de agosto del año 2023, siendo las 09:40 horas, se reunieron, en la sala meet: <https://meet.google.com/zch-bnpr-wqt>, el **JURADO DE SUSTENTACION DE TESIS** para la obtención del **TÍTULO Profesional de Ingeniero Ambiental y de Recursos Naturales** de la **Facultad de Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales**, conformado por los siguientes docentes ordinarios de la **Universidad Nacional del Callao**:

| | |
|--|---------------------|
| Ms.C. María Teresa Valderrama Rojas | : Presidente |
| Dr. Miguel Ángel De La Cruz Cruz | : Secretario |
| Mtra. Janet Mamani Ramos | : Vocal |
| Dr. Jorge Quintanilla Alarcón | : Suplente |
| Mtro. Abner Josué Vigo Roldán | : Asesor |

Se dio inicio al acto de sustentación de la tesis de los Bachilleres Miguel Angel Diaz Mendez, Jennifer Carolain Posada Delgado y Stefano Andree Pozo Brito, quienes habiendo cumplido con los requisitos para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental y de Recursos Naturales, sustentan la tesis titulada: **“LARVAS DE Tenebrion molitor CON SUSTRATOS ORGÁNICOS EN LA BIODEGRADACIÓN DE RESIDUOS DE POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS) A ESCALA DE LABORATORIO, CALLAO 2023”**, cumpliendo con la sustentación en acto público, de manera no presencial a través de la Plataforma Virtual, en cumplimiento de la declaración de emergencia adoptada por el Poder Ejecutivo para afrontar la pandemia del Covid19, a través del D.S. N° 044-2020-PCM y lo dispuesto en el DU N° 026-2020 y en concordancia con la Resolución del Consejo Directivo N°039-2020-SUNEDU-CD y la Resolución Viceministerial N° 085-2020-MINEDU, que aprueba las "Orientaciones para la continuidad del servicio educativo superior universitario";

Con el quórum reglamentario de ley, se dio inicio a la sustentación de conformidad con lo establecido por el Reglamento de Grados y Títulos vigente. Luego de la exposición, y la absolución de las preguntas formuladas por el Jurado y efectuadas las deliberaciones pertinentes, acordó: Dar por Aprobado con la escala de calificación cualitativa Muy Bueno y calificación cuantitativa DIECISIETE (17) la presente Tesis, conforme a lo dispuesto en el Art. 27 del Reglamento de Grados y Títulos de la UNAC, aprobado por Resolución de Consejo Universitario N° 099-2021-CU del 30 de junio de 2021.

Se dio por cerrada la Sesión a las 10:30 horas del día sábado 19 de agosto del año en curso.

Presidente

Secretario

























Vocal

Asesor

Document Information

| | |
|-------------------|--|
| Analyzed document | TESIS_DIAZ MENDEZ_POSADA DELGADO_POZO BRITO.pdf (D172859851) |
| Submitted | 2023-08-16 10:15:00 |
| Submitted by | |
| Submitter email | fiarn.investigacion@unac.edu.pe |
| Similarity | 8% |
| Analysis address | unidad.de.investigacion.fiarn.unac@analysis.urkund.com |

Sources included in the report

| | | | |
|-----------|--|---|---|
| SA | Caro_C_T2.docx Document Caro_C_T2.docx (D106035114) |   | 7 |
| W | URL: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i4.2762 Fetched: 2023-08-16 10:15:00 |   | 4 |
| SA | Morales_Niels_T2.docx Document Morales_Niels_T2.docx (D106152521) |   | 4 |
| SA | PROYECTO DE TESIS - Hoyos Ruíz Ledinson Jhuniór-IFA.pdf Document PROYECTO DE TESIS - Hoyos Ruíz Ledinson Jhuniór-IFA.pdf (D143780617) |   | 1 |
| W | URL: https://doi.org/10.47796/ing.v3i2.531 Fetched: 2023-08-16 10:15:00 |   | 2 |
| W | URL: https://revistas.upt.edu.pe/ojs/index.php/ingenieria/article/download/531/468/ Fetched: 2022-09-26 23:44:43 |   | 7 |
| SA | Ledinson Jhuniór Hoyos Ruíz -PT-IFA.pdf Document Ledinson Jhuniór Hoyos Ruíz -PT-IFA.pdf (D141585269) |   | 2 |
| SA | 5.- Yakely Rodriguez.docx Document 5.- Yakely Rodriguez.docx (D148573732) |   | 1 |
| W | URL: https://www.alimentovivosamsa.com/blog/102_metamorfosis-y-ciclo-vital-del-gusano-de-la-h.html Fetched: 2023-08-16 10:17:00 |   | 5 |
| W | URL: https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/55471/ginapaolabarreracastro.2016.pdf?se... Fetched: 2023-08-16 10:15:00 |   | 3 |
| W | URL: https://anape.es/producto/ Fetched: 2023-08-16 10:15:00 |   | 1 |
| W | URL: https://repository.eia.edu.co/bitstream/handle/11190/743/MolinaDaniela_2013_PlantaMovilRecolec... Fetched: 2023-08-16 10:16:00 |   | 4 |

INFORMACIÓN BÁSICA

FACULTAD: FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES

UNIDAD DE INVESTIGACIÓN: UNIDAD DE INVESTIGACIÓN DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES

TÍTULO: “LARVAS DE *Tenebrio molitor* CON SUSTRATOS ORGÁNICOS EN LA BIODEGRADACIÓN DE RESIDUOS DE POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS) A ESCALA DE LABORATORIO, CALLAO 2023”

AUTORES:

DÍAZ MENDEZ MIGUEL ÁNGEL / CÓDIGO ORCID: 0009-0004-7443-7413 / DNI: 70862423

POSADA DELGADO JENNIFER CAROLAIN / CÓDIGO ORCID: 0009-0002-4376-8709 / DNI: 73784694

POZO BRITO STEFANO ANDREE / CÓDIGO ORCID: 0009-0009-6305-2127 / DNI: 47996633

ASESOR: Mtro. ABNER JOSUÉ VIGO ROLDÁN / CÓDIGO ORCID: 0000-0002-5611-8011/ DNI: 08085074

LUGAR DE EJECUCIÓN: LABORATORIO DE LA FIARN

UNIDAD DE ANÁLISIS: RESIDUOS DE POLIESTIRENO EXPANDIDO

TIPO DE INVESTIGACIÓN: APLICADA / CUANTITATIVA / EXPERIMENTAL

TEMA OCDE: CIENCIAS DEL MEDIO AMBIENTE (CÓDIGO: 1.05.08)

DEDICATORIA

La presente tesis está dedicada a nuestros queridos padres por su amor, trabajo y sacrificio todos estos años de carrera universitaria; por haber fomentado el deseo de superación y esfuerzo que han hecho posible este logro en nuestras vidas. A todos aquellos que formaron parte de nuestras vidas y nos brindaron su aliento para seguir adelante.

ÍNDICE

| | |
|---|----|
| RESUMEN | 16 |
| ABSTRACT | 17 |
| INTRODUCCIÓN | 18 |
| I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA | 20 |
| 1.1. Descripción de la realidad problemática | 20 |
| 1.2. Formulación del problema | 23 |
| 1.2.1. Problema general | 23 |
| 1.2.2. Problemas específicos | 23 |
| 1.3. Objetivos | 23 |
| 1.3.1. Objetivo general | 23 |
| 1.3.2. Objetivos específicos | 24 |
| 1.4. Justificación | 24 |
| 1.4.1. Justificación ambiental | 24 |
| 1.4.2. Justificación económica | 25 |
| 1.4.3. Justificación social | 25 |
| 1.5. Delimitantes de la investigación | 25 |
| 1.5.1. Delimitante teórica | 25 |
| 1.5.2. Delimitante temporal | 26 |
| 1.5.3. Delimitante espacial | 26 |
| II. MARCO TEÓRICO | 27 |
| 2.1. Antecedentes | 27 |
| 2.1.1. Internacionales | 27 |
| 2.1.2. Nacionales | 30 |
| 2.2. Bases teóricas | 33 |
| 2.2.1. Tenebrio molitor | 33 |

| | | |
|--------|-----------------------------------|----|
| 2.2.2. | Sustratos orgánicos | 37 |
| 2.2.3. | Residuos de EPS | 38 |
| 2.2.4. | Biodegradación de residuos de EPS | 43 |
| 2.3. | Marco conceptual | 44 |
| 2.3.1. | Larvas de Tenebrio molitor | 44 |
| 2.3.2. | Sustratos orgánicos | 45 |
| 2.3.3. | Residuos de EPS | 45 |
| 2.4. | Definición de términos básicos | 46 |
| 2.4.1. | Biodegradación de residuos de EPS | 46 |
| 2.4.2. | Efecto | 46 |
| 2.4.3. | Eficiencia | 46 |
| 2.4.4. | Longitud | 47 |
| 2.4.5. | Masa (De sustratos orgánicos) | 47 |
| 2.4.6. | Número de individuos (larvas) | 47 |
| 2.4.7. | Proporción de sustrato / EPS | 47 |
| 2.4.8. | Residuos de EPS | 47 |
| 2.4.9. | Sustratos orgánicos | 47 |
| III. | HIPÓTESIS Y VARIABLES | 49 |
| 3.1. | Hipótesis | 49 |
| 3.1.1. | General | 49 |
| 3.1.2. | Específicas | 49 |
| 3.2. | Operacionalización de variables | 49 |
| IV. | METODOLOGÍA DEL PROYECTO | 50 |
| 4.1. | Diseño metodológico | 50 |
| 4.2. | Método de investigación | 51 |
| 4.2.1. | Etapa I: Obtención de materiales | 52 |

| | | |
|--------|--|----|
| 4.2.2. | Etapa II: Caracterización de larvas de Tenebrio molitor | 52 |
| 4.2.3. | Etapa III: Experimentación | 56 |
| 4.2.4. | Etapa IV: Recopilación y análisis de datos | 57 |
| 4.3. | Población y muestra | 57 |
| 4.5. | Técnicas e instrumentos para la recolección de la información | 58 |
| 4.5.1. | Técnicas para la recolección de la información | 58 |
| 4.5.2. | Instrumentos para la recolección de la información | 58 |
| 4.6. | Análisis y procesamiento de datos | 59 |
| 4.7. | Aspectos Éticos en Investigación | 60 |
| V. | RESULTADOS | 61 |
| 5.1. | Resultados descriptivos | 61 |
| 5.1.1. | Efecto de las larvas de Tenebrio molitor con sustratos orgánicos en la biodegradación de residuos de EPS | 61 |
| 5.1.2. | Eficiencia de las larvas de Tenebrio molitor con sustratos orgánicos en la biodegradación de residuos de EPS para identificar al sustrato óptimo | 74 |
| 5.1.3. | Eficiencia de las larvas de Tenebrio molitor con sustratos orgánicos en la biodegradación de residuos de EPS para identificar la dosis óptima | 79 |
| 5.2. | Resultados inferenciales | 84 |
| 5.2.1. | Efecto de las larvas de Tenebrio molitor con sustratos orgánicos en la biodegradación de residuos de EPS. | 84 |
| 5.2.2. | Eficiencia de las larvas de Tenebrio molitor con sustratos orgánicos en la biodegradación de residuos de EPS para identificar al sustrato óptimo | 92 |
| 5.2.3. | Eficiencia de las larvas de Tenebrio molitor con sustratos orgánicos en la biodegradación de residuos de EPS para identificar la dosis óptima | 94 |
| VI. | DISCUSIÓN DE RESULTADOS | 98 |
| 6.1. | Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados | 98 |
| 6.1.1. | Contrastación de la primera hipótesis específica | 98 |
| 6.1.2. | Contrastación de la segunda hipótesis específica | 98 |
| 6.1.3. | Contrastación de la tercera hipótesis específica | 99 |

| | | |
|-------|--|-----|
| 6.2. | Contrastación de los resultados con otros estudios similares | 99 |
| 6.3. | Responsabilidad ética de acuerdo a los reglamentos vigentes | 100 |
| VII. | CONCLUSIONES | 101 |
| VIII. | RECOMENDACIONES | 102 |
| IX. | REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 103 |
| X. | ANEXOS | 112 |
| | Matriz de consistencia | 112 |
| | Instrumentos para la recolección de datos | 113 |
| | Validación de Instrumentos | 116 |
| | Marco Normativo | 119 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1 <i>Propiedades físicas del poliestireno expandido (EPS)</i> | 41 |
| Tabla 2 <i>Matriz de Operacionalización de Variables</i> | 49 |
| Tabla 3 <i>Caracterización biológica del Tenebrio molitor</i> | 53 |
| Tabla 4 <i>Resumen de técnicas e instrumentos de recolección de datos</i> | 59 |
| Tabla 5 <i>Masa de residuos de EPS biodegradada mediante las larvas de Tenebrio molitor</i> | 62 |
| Tabla 6 <i>Porcentaje de biodegradación de residuos de EPS mediante las larvas de Tenebrio molitor</i> | 64 |
| Tabla 7 <i>Número de las larvas de Tenebrio molitor</i> | 66 |
| Tabla 8 <i>Masa de las larvas de Tenebrio molitor</i> | 68 |
| Tabla 9 <i>Longitud de las larvas de Tenebrio molitor</i> | 70 |
| Tabla 10 <i>Estadísticos descriptivos – Según tipo de sustrato</i> | 71 |
| Tabla 11 <i>Estadísticos descriptivos – Según dosis de sustrato</i> | 72 |
| Tabla 12 <i>Masa de residuos de EPS biodegradada mediante las larvas de Tenebrio molitor, con sustratos orgánicos</i> | 75 |
| Tabla 13 <i>Porcentaje de biodegradación de residuos de EPS mediante las larvas de Tenebrio molitor con sustratos orgánicos</i> | 78 |
| Tabla 14 <i>Estadísticos descriptivos, según el tipo de sustrato</i> | 79 |
| Tabla 15 <i>Estadísticos descriptivos, según la dosis del sustrato</i> | 84 |
| Tabla 16 <i>Prueba de Normalidad Shapiro Wilk, según el tipo de sustrato</i> | 86 |
| Tabla 17 <i>Prueba de Normalidad Shapiro Wilk, según la dosis de sustrato</i> | 86 |
| Tabla 18 <i>Prueba de Levene, según el tipo de sustrato</i> | 87 |
| Tabla 19 <i>Prueba de Levene, según la dosis de sustrato</i> | 88 |
| Tabla 20 <i>ANOVA de un factor, según tipo de sustrato</i> | 89 |
| Tabla 21 <i>ANOVA de un factor, según dosis de sustrato</i> | 89 |
| Tabla 22 <i>ANOVA de Kruskal Wallis, según dosis de sustrato</i> | 90 |
| Tabla 23 <i>Prueba Post Hoc de Tukey – Masa de larvas, según tipo de sustrato</i> | 90 |
| Tabla 24 <i>Prueba Post Hoc de Tukey – Masa de EPS, según dosis de sustrato</i> | 91 |

| | |
|--|----|
| Tabla 25 <i>Prueba Post Hoc de Tukey – Porcentaje de biodegradación, según dosis de sustrato</i> | 91 |
| Tabla 26 <i>Prueba de Normalidad Shapiro Wilk, según el tipo de sustrato</i> | 92 |
| Tabla 27 <i>Prueba de Levene, según el tipo de sustrato</i> | 93 |
| Tabla 28 <i>ANOVA de un factor, según el tipo de sustrato</i> | 94 |
| Tabla 29 <i>Prueba de Normalidad Shapiro Wilk, según la dosis de sustrato</i> | 94 |
| Tabla 30 <i>Prueba de Levene, según la dosis de sustrato</i> | 95 |
| Tabla 31 <i>ANOVA de un factor, según la dosis de sustrato</i> | 96 |
| Tabla 32 <i>Prueba Post Hoc – Masa de EPS, según la dosis de sustrato</i> | 96 |
| Tabla 33 <i>Prueba Post Hoc – Porcentaje de biodegradación, según la dosis de sustrato</i> | 97 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 <i>Estructura de los procesos reactivos del benceno con el etileno</i> | 38 |
| Figura 2 <i>Fórmula química condensada del poliestireno</i> | 38 |
| Figura 3 <i>Degradación de estireno</i> | 43 |
| Figura 4 <i>Diseño experimental</i> | 51 |
| Figura 5 <i>Distribución de sustratos orgánicos y EPS</i> | 56 |
| Figura 6 <i>Variación de la masa de residuos sólidos de EPS biodegradada por las larvas de Tenebrio molitor</i> | 61 |
| Figura 7 <i>Porcentaje de biodegradación de residuos de EPS mediante larvas de Tenebrio molitor</i> | 63 |
| Figura 8 <i>Variación del número de larvas de Tenebrio molitor</i> | 65 |
| Figura 9 <i>Variación de la masa de larvas de Tenebrio molitor</i> | 67 |
| Figura 10 <i>Variación de la longitud de larvas de Tenebrio molitor</i> | 69 |
| Figura 11 <i>Evolución de la masa de residuos sólidos de EPS biodegradada por las larvas de Tenebrio molitor con sustratos orgánicos (cáscaras de papa)</i> | 73 |
| Figura 12 <i>Evolución de la masa de residuos sólidos de EPS biodegradada por las larvas de Tenebrio molitor con sustratos orgánicos (hojarascas)</i> | 74 |
| Figura 13 <i>Evolución de la masa de residuos sólidos de EPS biodegradada por las larvas de Tenebrio molitor con sustratos orgánicos (salvado de trigo)</i> | 74 |
| Figura 14 <i>Porcentaje de biodegradación de residuos de EPS por las larvas de Tenebrio molitor con sustratos orgánicos (cáscaras de papa)</i> | 76 |
| Figura 15 <i>Porcentaje de biodegradación de residuos de EPS por las larvas de Tenebrio molitor, con sustratos orgánicos (hojarascas)</i> | 77 |
| Figura 16 <i>Porcentaje de biodegradación de residuos de EPS por las larvas de Tenebrio molitor, con sustratos orgánicos (hojarascas)</i> | 77 |
| Figura 17 <i>Evolución de la masa de residuos sólidos de EPS biodegradada por las larvas de Tenebrio molitor con sustratos orgánicos (sustratos al 25%)</i> | 80 |
| Figura 18 <i>Evolución de la masa de residuos sólidos de EPS biodegradada por las larvas de Tenebrio molitor con sustratos orgánicos (sustratos al 50%)</i> | 80 |
| Figura 19 <i>Evolución de la masa de residuos sólidos de EPS biodegradada por las larvas de Tenebrio molitor con sustratos orgánicos (sustratos al 75%)</i> | 81 |

| | |
|--|-----|
| Figura 20 <i>Porcentaje de biodegradación de residuos de EPS por las larvas de Tenebrio molitor con sustratos orgánicos (sustratos al 25%)</i> | 82 |
| Figura 21 <i>Porcentaje de biodegradación de residuos de EPS por las larvas de Tenebrio molitor con sustratos orgánicos (sustratos al 50%)</i> | 83 |
| Figura 22 <i>Porcentaje de biodegradación de residuos de EPS por las larvas de Tenebrio molitor con sustratos orgánicos (sustratos al 75%)</i> | 83 |
| Figura 23 <i>Ficha 1: Características de larvas de Tenebrio molitor</i> | 113 |
| Figura 24 <i>Ficha 2: Biodegradación de EPS</i> | 114 |
| Figura 25 <i>Ficha 3: Proceso de biodegradación</i> | 115 |

ABREVIATURAS

EPS: Poliestireno expandido

SIGERSOL: Sistema de Información para la Gestión de Residuos Sólidos

OECD: Organization for Economic Co-operation and Development

MMT: Millones de Toneladas Métricas

HDPE: Polietileno de alta densidad

PET: Tereftalato de polietileno

PE: Polietileno

RESUMEN

Debido que la cantidad de residuos de EPS ha ido incrementándose y que su disposición final, en su mayoría, está mal gestionada generando impactos negativos en el ambiente, la presente investigación tuvo como objetivo evaluar la eficiencia de las larvas de *Tenebrio molitor* con sustratos orgánicos en la biodegradación de residuos de poliestireno expandido (EPS). La investigación fue de tipo aplicada, con enfoque cuantitativo y con diseño experimental y longitudinal. La población estuvo constituida por los residuos de EPS generados en el sector industrial producto del embalaje y protección de electrodomésticos, la muestra estuvo conformada por un total de 7.5 g de residuos de EPS los cuales fueron distribuidos en 12 grupos. El diseño experimental siguió un modelo de 4 x 4 y el análisis estadístico realizado fue el de ANOVA de un factor. La parte experimental fue realizada durante 30 días demostrando que el efecto de las larvas de *Tenebrio molitor* con sustratos orgánicos en la biodegradación de los residuos de EPS es positivo; asimismo, se demuestra que la eficiencia de estos identifica como dosis óptima de sustratos orgánicos a la de 75%, obteniéndose un porcentaje de biodegradación de hasta 57%. Por tanto, se comprueba que las larvas de *Tenebrio molitor* con sustratos orgánicos empleados en la biodegradación son eficientes en la minimización los residuos de EPS.

Palabras clave: *Tenebrio molitor*, biodegradación, residuos de EPS, sustratos orgánicos.

ABSTRACT

Due to the fact that the amount of EPS waste has been increasing and that its final disposal, for the most part, is poorly managed, generating negative impacts on the environment, the objective of this research was to evaluate the efficiency of *Tenebrio molitor* larvae with organic substrates in the biodegradation of expanded polystyrene (EPS) waste. The research was applied, with a quantitative approach and an experimental and longitudinal design. The population consisted of EPS waste generated in the industrial sector from the packaging and protection of household appliances; the sample consisted of a total of 7.5 g of EPS waste, which were distributed in 12 groups. The experimental design followed a 4 x 4 model and the statistical analysis was a one-factor ANOVA. The experimental part was carried out for 30 days, demonstrating that the effect of *Tenebrio molitor* larvae with organic substrates on the biodegradation of EPS waste is positive; it is also shown that the efficiency of these substrates identifies 75% as the optimum dose of organic substrates, obtaining a biodegradation percentage of up to 57%. Therefore, it is proved that the larvae of *Tenebrio molitor* with organic substrates used in biodegradation are efficient in minimizing EPS waste.

Keywords: *Tenebrio molitor*, biodegradation, EPS waste, organic substrates.

INTRODUCCIÓN

El fenómeno del calentamiento global, en los últimos años, ha venido acentuándose debido al crecimiento poblacional de ciudades e industrias y al desarrollo de la economía mundial. Este fenómeno es producto de diferentes actividades que generan un alto volumen de residuos contaminantes, ocasionando que las condiciones ambientales sean más complejas en las grandes ciudades del mundo, lo que a su vez conlleva un alarmante incremento en la emisión de gases de efecto invernadero, un problema que se agudiza debido al mal manejo de los residuos sólidos generados por la población. Sin embargo, en busca de una mejora en su calidad de vida, la humanidad está sobreexplotando los recursos naturales para obtener productos como el plástico que, en la mayoría de los casos, terminan depositados en diversos ecosistemas terrestres, alterándolos (Quintero Peña, 2013).

Los residuos sólidos de poliestireno expandido (conocido en nuestro país como tecnopor) también han ido incrementándose en los últimos años, convirtiéndose en un problema particular en los ríos y océanos, donde los desechos plásticos flotantes han causado problemas para la vida marina y la salud humana. Según el Sistema de Información de Gestión de Residuos Sólidos – SIGERSOL (2022) del Ministerio del Ambiente (MINAM), en el Perú, se generaron aproximadamente 50,486 toneladas de residuos de poliestireno expandido y, a nivel de la ciudad de Lima, se generaron 19,384 toneladas, lo que quiere decir que más del 35% de residuos sólidos de EPS nacionales son generados en Lima.

El poliestireno expandido (EPS) es un material que no se descompone químicamente en el entorno natural y tiene una vida útil muy breve, generalmente es utilizado una sola vez. Esto plantea un serio problema ambiental, debido a que su disposición final no está claramente definida y, a menudo, se termina incinerando o sometiéndolo a tratamientos químicos. Estos tratamientos implican el uso de disolventes que representan un riesgo para el medio ambiente y la salud pública (Contreras Osorio, 2015).

Según investigaciones de los últimos años, se demostró que la larva del escarabajo de harina, *Tenebrio molitor*, puede consumir el EPS ya que contiene dentro de su tracto digestivo microorganismos que contribuyen en la biodegradación de este material.

Por lo anteriormente descrito, la presente investigación gira en torno a la biodegradación de residuos sólidos de EPS a través de las larvas de *Tenebrio molitor* agregándole sustratos orgánicos para así optimizar la degradación y analizar el tiempo de vida de las larvas con la finalidad de dar una nueva alternativa para reducir la contaminación por plásticos y tratar este tipo de residuos.

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de la realidad problemática

Según la Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos – OECD (2022), en el 2019, se emplearon un total de 460 MMT de plásticos a nivel mundial y se prevé que, para el 2060, esta cantidad aumente a 1 231 MMT; además, se contempla un mayor crecimiento en los sectores del transporte, la construcción y embalaje, debido a que juntos representan actualmente el 60% del uso total de plásticos; por consiguiente, mientras que el uso de plásticos aumenta para todos los polímeros, los aumentos más significativos se producirán en los polímeros empleados en dichos sectores; asimismo, la OECD (2022) proyecta que los residuos plásticos aumenten considerablemente en las próximas décadas, pasando de 353 MMT en 2019 a 1 014 MMT en 2060; en el caso de los residuos de EPS, en el año 2019, se generaron aproximadamente 21 MMT y se estima que, para el año 2060, aumente a 55 MMT.

Los métodos tradicionales de eliminación de EPS dan como resultado la generación de subproductos contaminantes ambientales como furanos, dioxinas y bifenilos policlorados (Verma, Vinoda, Papireddy, & Gowda, 2016). De acuerdo con la OECD (2022), en 2019, en el mundo, el 49% de los residuos plásticos es dispuesto en rellenos sanitarios, el 22% es mal gestionado, el 19% es incinerado, el 9% es reciclado y el 1% es basura que no ha sido recogida; en el caso de Latinoamérica, el 47% es dispuesto en rellenos sanitarios, el 41% es mal gestionado, el 10% es reciclado, el 1% es incinerado, y otro 1% es basura no recogida, evidenciándose que el mal manejo de los residuos plásticos es a nivel mundial.

Según el SIGERSOL (2022), en el Perú, en 2019, se generaron aproximadamente un total de 45 487.13 toneladas de residuos sólidos de EPS, mientras que, en el 2021, se generaron 50 486.77 toneladas; en el caso de Lima Metropolitana, en el 2019, se generaron 16 330.15 toneladas de residuos sólidos de EPS y, en el 2021, 19 384.72 toneladas, evidenciándose un aumento considerable de este tipo de residuo en los últimos años y que más del 35% de los residuos sólidos de EPS generados en el país son generados en la capital.

Pese a existir una ley que regula el plástico de un solo uso y los recipientes o envases descartables, Ley N°30884 que entró en vigor a fines del año 2021, esta solo limita a los plásticos empleados en el envasado de alimentos y bebidas, por ello se sigue empleando el EPS en diversos sectores (construcción, industrial, comercio) como material de protección o aislante térmico, siendo aún un residuo recurrente en el ámbito nacional. Greenpeace critica la mencionada ley porque ésta incluye demasiadas excepciones y no establece sanciones específicas para los establecimientos que incumplan la normativa; además, consideran que la ley no promueve suficientemente el reciclaje y la economía circular. Por su parte, el Instituto Peruano de Economía, señala que la ley puede tener efectos negativos en la economía al generar costos adicionales para los establecimientos que deban cambiar sus prácticas, también consideran que la falta de medidas de control y sanciones específicas debilita la aplicación de la normativa.

Respecto a la disposición final de los residuos sólidos plásticos:

Al 2020, en el Perú, más del 35% de estos residuos no posee una disposición adecuada y solo el 9% es reciclado; por otro lado, en el caso del EPS, su reciclaje es económicamente insostenible debido a que, al ser un material de peso ligero y de baja densidad, resulta poco rentable su traslado o transporte hacia una planta centralizada; además, dada su porosidad, es más complicada la limpieza del material que normalmente está contaminado con bebidas y alimentos. En consecuencia, los residuos sólidos de EPS son mal gestionados y dispuestos en lugares inadecuados, facilitándose su acarreo por acción del viento hacia cuerpos de agua. (Dirección General de Gestión de Residuos Sólidos, 2021)

Como resultado del impacto ambiental generado por la mala gestión de los residuos sólidos plásticos, se están explorando métodos alternativos para la disposición de este tipo de residuos; una opción favorable es la biodegradación debido a que se emplean organismos vivos (bacterias, hongos, insectos, entre otros) para la degradación de los materiales plásticos. Es por ello por lo que, desde el 2010, investigadores han demostrado que la etapa larvaria de varios

miembros de la especie de escarabajo oscuro, como *Tenebrio molitor*, *Tenebrio obscurus* y *Zophobas atratus*, tienen la capacidad de biodegradar EPS (Yang, y otros, 2015). Aunque la biodegradación de EPS es un campo de investigación relativamente nuevo, se han reportado algunas experiencias exitosas a nivel mundial; por ejemplo, en China, investigadores de la Universidad de Beihang alimentaron a los gusanos de harina (*Tenebrio molitor*) con pequeñas cantidades de EPS, encontrando que los gusanos fueron capaces de digerir y excretar el material. En España, la empresa Biao, desarrolló un sistema que consiste en colocar los gusanos de harina en contenedores especiales junto con pequeñas cantidades de EPS, demostrando que es capaz de degradar hasta un 50% del EPS en cuestión de semanas. En Estados Unidos, investigadores de la Universidad de Stanford han empleado al *Tenebrio molitor* para degradar el EPS en combinación con otros microorganismos, encontrando que los gusanos de la harina son capaces de digerir el material y excretar residuos no tóxicos. A nivel de América latina, existen diversos artículos relacionados a la biodegradación del *Tenebrio molitor*, sin embargo, aún no es aplicado como una alternativa nueva y confiable frente a las tecnologías convencionales.

Por lo expuesto, esta investigación plantea emplear larvas de *Tenebrio molitor* para biodegradar, mediante la adición de sustratos orgánicos, los residuos de EPS, evaluando así la eficiencia que tienen estos sustratos orgánicos, midiendo la relación entre masa y peso, la variación y porcentaje de degradación del EPS. Las larvas de los gusanos de harina, *Tenebrio molitor*, contienen dentro de su tubo digestivo una bacteria capaz de degradar el EPS (Yang, y otros 2015); pero la propuesta es adicionar sustratos orgánicos (algunos provenientes de residuos sólidos orgánicos y salvado de trigo), en diferentes proporciones para determinar cuál es la proporción más óptima en la que las larvas de *Tenebrio molitor* pueden biodegradar los residuos de EPS y a su vez determinar qué sustrato es el eficaz en dicha biodegradación.

Esta investigación fue realizada en los laboratorios de la facultad de Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales de la Universidad Nacional del Callao, en el distrito de Bellavista, Región Callao. Las larvas de *Tenebrio*

molitor fueron adquiridas a través de un criadero especializado, para luego ser trasladadas a las instalaciones del laboratorio.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

Si bien existen investigaciones que confirman que las larvas de *Tenebrio molitor*, en su proceso de digestión, tienen la capacidad de biodegradar el EPS, esta puede ser optimizada mediante el uso de sustratos orgánicos que permitirán una mejor ingestión de los residuos de EPS, por lo que se plantea la siguiente pregunta:

¿Cuál es la eficiencia de las larvas de *Tenebrio molitor* con sustratos orgánicos en la biodegradación de los residuos de EPS?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cuál es el efecto de las larvas de *Tenebrio molitor* con sustratos orgánicos en la biodegradación de los residuos de EPS?
- ¿Cuál es la eficiencia de las larvas de *Tenebrio molitor* con sustratos orgánicos en la biodegradación de residuos de EPS para identificar el sustrato óptimo?
- ¿Cuál es la eficiencia de las larvas de *Tenebrio molitor* con sustratos orgánicos en la biodegradación de residuos de EPS para identificar la dosis óptima de sustratos?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Evaluar la eficiencia de las larvas de *Tenebrio molitor* con sustratos orgánicos en la biodegradación de residuos de EPS.

1.3.2. Objetivos específicos

- Analizar el efecto de las larvas de *Tenebrio molitor* con sustratos orgánicos en la biodegradación de residuos de EPS.
- Determinar la eficiencia de las larvas de *Tenebrio molitor* con sustratos orgánicos en la biodegradación de residuos de EPS para identificar el sustrato óptimo.
- Determinar la eficiencia de las larvas de *Tenebrio molitor* con sustratos orgánicos en la biodegradación de residuos de EPS para identificar la dosis óptima de sustratos.

1.4. Justificación

La justificación de una tesis es una sección importante del trabajo de investigación porque permite explicar y defender la importancia del estudio realizado, es una sección que proporciona una base sólida para el trabajo de investigación y ayuda al lector a comprender el propósito y los objetivos del estudio.

1.4.1. Justificación ambiental

Sabemos que la producción, uso y eliminación de EPS ocasiona un impacto ambiental negativo. Por otro lado, la degradación natural del EPS resulta ser muy lenta y, en muchas ocasiones, se desconoce la composición química de estos, pudiendo contener sustancias tóxicas para los seres humanos; asimismo, en muchas ocasiones, el EPS llega al fondo marino provocando su ingesta por parte de los animales acuáticos y este, al no ser digerible, termina obstruyendo su tracto digestivo provocándoles la muerte.

La biodegradación puede presentarse como una excelente alternativa para el tratamiento de residuos de EPS, aportando beneficios ambientales al reducir el impacto negativo de estos residuos, acelerando su degradación, evitando la generación de sustancias contaminantes y protegiendo la vida.

Por ello, la presente investigación busca ser una opción más eco amigable para degradar los residuos de EPS empleando larvas de *Tenebrio molitor* con sustratos orgánicos.

1.4.2. Justificación económica

La biodegradación de los residuos de EPS mediante la aplicación de *Tenebrio molitor* con sustratos orgánicos resulta ser una alternativa poco costosa dado que no es necesario realizar algún tratamiento previo a los residuos, ni tampoco el empleo de sustancias químicas; además, la obtención y crianza de las larvas de *Tenebrio molitor* resulta ser muy económica. Asimismo, el beneficio económico es alto ya que biodegradar estos residuos no generará ningún impacto negativo significativo al medio ambiente frente a otras tecnologías que requieren de mucha inversión monetaria y recursos.

Por lo expuesto anteriormente, la presente investigación representa un aporte económico iniciando nuevas actividades económicas y encajando en el concepto de economía circular.

1.4.3. Justificación social

La propuesta de utilizar la biodegradación de residuos de EPS como alternativa a los métodos actuales empleados en los rellenos sanitarios garantiza una eliminación más favorable para el medio ambiente. A diferencia de estos métodos, la biodegradación implica que los residuos de EPS serán consumidos como alimento por las larvas de *Tenebrio molitor*, lo cual evita la generación de contaminantes perjudiciales. De esta manera, se logra mejorar la calidad de vida de la población al reducir los impactos negativos en el medio ambiente.

1.5. Delimitantes de la investigación

1.5.1. Delimitante teórica

Esta investigación tiene su fundamento en los principios de sostenibilidad y de responsabilidad ambiental de la Ley N° 28611, Ley General del Medio Ambiente, esto debido a que busca la integración equilibrada de los aspectos sociales, ambientales y económicos del desarrollo nacional, así como la

adopción de medidas para la restauración del ambiente y de sus componentes; asimismo, se basa en los artículos 66 y 123 de la misma ley, referidos a la salud ambiental y a la investigación ambiental científica y tecnológica respectivamente, dado a que se espera contribuir en una efectiva gestión del ambiente y de los factores que generan riesgos a la salud de las personas y a que está orientada, en forma prioritaria, a proteger la salud ambiental, optimizar el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales y a prevenir el deterioro ambiental.

1.5.2. *Delimitante temporal*

La presente investigación se realizó durante los meses de enero a julio del 2023, debido a que la caracterización de larvas de *Tenebrio molitor* tomó un tiempo aproximado de 3 meses, y la etapa experimental tuvo una duración de 30 días, durante los meses de mayo y junio del 2023.

1.5.3. *Delimitante espacial*

Esta investigación se realizó en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales (FIARN) de la Universidad Nacional del Callao (UNAC), puesto que presenta las condiciones ambientales adecuadas para la ejecución de los experimentos y a que facilita la adquisición de los instrumentos necesarios para la medición de nuestros indicadores.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

La sección de antecedentes permite al autor establecer el contexto y la relevancia del problema de investigación en el campo de estudio. En este sentido, los antecedentes son fundamentales para justificar la necesidad de la investigación y para demostrar su relevancia e importancia en el marco más amplio de la disciplina.

2.1.1. Internacionales

Palmer, y otros (2022), en “Biodegradación de poliestireno expandido por estadios larvarios y adultos de *Tenebrio molitor* con sustratos y lechos variables”, tuvieron como objetivo identificar qué condiciones y preparaciones del hábitat pueden ser beneficiosas para el consumo de EPS del gusano de la harina. Es una investigación de tipo aplicada, nivel explicativo, con enfoque cuantitativo y de diseño experimental. En sus resultados, determinó que el consumo de EPS, en tres semanas, las muestras que contenían 100 larvas, 50 larvas y 50 escarabajos, y 100 escarabajos consumieron el 26,8 %, el 15,3 % y el 0,59 %, en peso, de la muestra de EPS, respectivamente, concluyendo que un mayor número de gusanos de la harina vivos presentes en un hábitat conducen a un aumento en el consumo neto de EPS. El artículo se relaciona con la presente tesis en la determinación del consumo de EPS por parte de la especie *Tenebrio molitor*; además, resulta de gran utilidad debido a que identifica que el mayor consumo de EPS fue realizado por los gusanos y no por los escarabajos.

Chávez Muñoz, y otros (2022), en “Evaluación de poliestireno expandido (EPS) y polietileno de baja densidad (PEBD) como alimento para larvas de gorgojo negro (*Tenebrio molitor*)”, tuvieron como objetivo evaluar el consumo de EPS y PEBD por larvas de gorgojo negro (*Tenebrio molitor*) y poder evidenciar el consumo de EPS y polietileno en los diferentes tipos de sustratos donde se desarrolla su estado larval. Es una investigación de tipo aplicada, nivel explicativo, enfoque cuantitativo y diseño experimental. Emplearon, como muestra, 450 larvas de *Tenebrio molitor* para 5 tratamientos (EPS, PEBD,

avena+EPS, avena+PEBD, EPS+PEBD). En sus resultados, se observa que, en 22 días, el tratamiento con mayor porcentaje de eficiencia fue el de EPS+PEBD (91.3%, 92% y 92%, en cada repetición), seguido del segundo tratamiento de avena+EPS (59.5%, 77.9% y 82.1%, en cada repetición). El artículo resulta ser de gran aporte para la presente tesis debido a que emplea a la avena como sustrato en la degradación del EPS y PEBD, demostrando que esta sí contribuye en dicho proceso, pero no con una alta eficiencia.

Indra Putra & Nurcahyasari (2021), en “Degradación de algunos poliestirenos utilizando larvas de escarabajo (*Tenebrio molitor* L.)”, tuvo como objetivo determinar el aumento de la longitud y el peso corporal, la tasa de degradación y el valor del índice de reducción de residuos (WRI) de las larvas de *T. molitor*. Emplearon, como muestras, diez grupos de 25 larvas y cuatro tipos de poliestireno (para envasado de alimentos – K1, para paredes – K2, para envasado electrónico – K3 y para cajas de hielo – K4), de 1 g. Sus resultados mostraron el tratamiento K1 obtuvo una degradación de 0.011 g, los tratamientos K2 y K3 una de 0.019 g y el tratamiento K4 una de 0.017 g; concluyendo que el valor más alto de tasa de degradación fue en los envases de alimentación y electrónicos de poliestireno de pared, mientras que el más bajo fue en los envases de alimentos. Este artículo se vincula con la presente tesis debido a que resulta ser que el EPS para envasado electrónico, frente a los otros tipos de EPS, logró ser el más degradado por las larvas de *Tenebrio molitor*, resultando un gran aporte en la parte experimental de la investigación.

Yang, y otros (2021), en “Biodegradación de espumas de poliestireno expandido y polietileno de baja densidad en larvas de *Tenebrio molitor* Linnaeus (Coleoptera: Tenebrionidae): Despolimerización de extensión amplia frente a limitada y dependencia frente a independencia de los microbios”, tuvieron como objetivo comparar la despolimerización y biodegradación de un EPS comercial y dos espumas de LDPE con diferentes pesos moleculares en larvas de *T. monitor* con el fin de evaluar la despolimerización y biodegradación, examinar el papel de los microbios en la despolimerización con el antibiótico gentamicina y analizar la microbiota intestinal de *Tenebrio molitor* en diferentes condiciones de alimentación mediante la tecnología de secuenciación de alto rendimiento. Es

una investigación de tipo experimental, nivel explicativo, enfoque cuantitativo y diseño experimental. En sus resultados, luego de 60 días de experimentación, se observa que 300 larvas lograron consumir 1.5 g de espuma de EPS de un total de 3 g. Concluyó que la biodegradación de EPS mostró un patrón de despolimerización amplio y ubicuo similar. La contribución de este artículo reside en la cantidad de masa de EPS degradada por las larvas, llegando a representar aproximadamente el 50% de la masa inicial; también, resulta importante el uso de una cantidad considerable de larvas en su experimento, siendo de utilidad en la determinación de larvas a emplearse en la presente investigación.

Bulak, y otros (2021), en “Biodegradación de Diferentes Tipos de Plásticos por el Insecto *Tenebrio molitor*”, tuvo como objetivo demostrar la capacidad del insecto *Tenebrio molitor* para biodegradar diferentes residuos plásticos. La investigación fue de carácter experimental donde la muestra fueron 1500 larvas distribuidas en 3 recipientes. Los tipos de residuos plásticos utilizados fueron: restos de espuma de poliestireno (PS), dos tipos de poliuretano (PU1 y PU2), y espuma de polietileno (PE). Concluyeron que la eficiencia de reducción de masa para todos los plásticos investigados fue de 46,5 %, 41,0 %, 53,2 % y 69,7 % para PS, PU1, PU2 y PE, respectivamente (con una dosis de 0,0052 g de cada plástico por 1 larva de gusano de la harina), durante de 58 días. También encontraron que la aplicación de aditivos alimentarios en forma de salvado de trigo para *T. molitor* en una mayor biodegradación de PS: 56,8%. Este artículo tiene un alto nivel de significancia debido a que utiliza como sustrato salvado de trigo para lograr aumentar la eficiencia y comparar frente a otros tipos de residuos plásticos.

Peng, y otros (2019), en “Biodegradación de poliestireno por gusanos oscuros (*Tenebrio obscurus*) y amarillos (*Tenebrio molitor*) (Coleoptera: Tenebrionidae)”, tuvieron como objetivo demostrar la capacidad de los gusanos oscuros y amarillos para biodegradar el poliestireno. Es una investigación de tipo experimental, nivel explicativo, enfoque cuantitativo y diseño experimental. Emplearon como muestra 410 larvas a las que se les añadieron bloques de EPS de 7.2 g. Concluyó que el consumo de EPS por ambas especies aumentó progresivamente; las larvas de *T. obscurus* fueron capaces de consumir

rápidamente EPS a tasas incluso superiores a las de *T. molitor*. Durante la prueba de 31 días con EPS como única dieta, el consumo masivo de EPS por las larvas de *T. obscurus* fue del $55,4\% \pm 1,5\%$, mientras que el de *T. molitor* fue del $41,5\% \pm 3,0\%$. El aporte de este artículo a la presente tesis se sustenta en la demostración de la biodegradación del EPS mediante gusanos oscuros y gusanos amarillos; asimismo, prueba que 31 días fueron suficientes para dicha demostración.

2.1.2. Nacionales

Vera-Marmanillo (2022), en “Biodegradación del Poliestireno Expandido con Microbiota intestinal aislada del *Tenebrio molitor* (*Tenebrionidae*)”, tuvo como objetivo aislar bacterias de la microbiota intestinal de larvas de *Tenebrio molitor* como organismos degradadores de EPS, identificar el género de bacterias aisladas, determinar el volumen de poliestireno consumido por las larvas como única fuente de alimento, en condiciones de laboratorio, y finalmente evaluar la composición bioquímica de los residuos generados como parte del proceso de digestión de las larvas de *Tenebrio molitor*. La investigación tuvo un enfoque cuantitativo y diseño experimental, no paramétrico. La muestra fue de 1393 larvas distribuidas en 4 grupos. En sus resultados lograron identificar a la especie *Enterococcus faecalis* ATCC 29212. Luego de someter, durante 39 días, la especie de *Tenebrio molitor*, a condiciones de laboratorio, determinaron que el volumen de poliestireno consumido fue de 0.3 g en el tratamiento 4 y 0.13 g en el tratamiento 2, en el día 8 respectivamente, y 0,14 g en el tratamiento 2 el día 11, siendo los días de mayor gramaje de biodegradación. La pertinencia de este artículo radica en que registra información de la diferencia másica inicial y final del EPS con el fin de determinar el porcentaje de biodegradación, validando los indicadores que se emplearon en la presente investigación.

Albarracín Liendo & Clavijo Koc (2021), en “Condiciones Ambientales y Biológicas del *Tenebrio molitor* en la Degradación del Poliestireno”, tuvieron como objetivo evaluar las condiciones biológicas y ambientales de la biodegradación de poliestireno por *Tenebrio molitor*. Es una investigación experimental de tipo aplicada, donde la muestra fue no probabilista y se

emplearon 13 g de las larvas, aproximadamente 100 unidades por tratamiento (T1, T1a, T1b, T2, T2a, T2b, T3, T3a y T3b). Concluyeron que la influencia del estadio larvario influye en el proceso de biodegradación, siendo el tamaño pequeño el más eficiente en el consumo de poliestireno que fue de 0.12 g en 56 días y los tenebrios de tamaño grande presentan un proceso de biodegradación más lento de 0.03 g de 56 días, debido al proceso de metamorfosis; por otro lado la proporción de poliestireno y alimento influye en la biodegradación de la larva, evidenciando su capacidad de metabolizar el poliestireno debido a que no discrimina en el consumo de sustrato orgánico y el poliestireno, el porcentaje de poliestireno en relación con el alimento, siendo el tratamiento 01 (15 %), el tratamiento 02 (8 %) y el tratamiento 03 (3 %), el tratamiento 01 tuvo un consumo promedio de 0,42 g mayor a los tratamientos 02 y 03 con un promedio de 0,27 y 0,19 g respectivamente. Esto nos demuestra que las larvas consumen el poliestireno en igual proporción que el alimento y no selecciona el sustrato orgánico sobre el EPS y se puede trabajar con proporciones de hasta 15 % de poliestireno en un proceso de biodegradación. Lo relevante de este artículo es que muestra que el uso del salvado de trigo como sustrato orgánico en la alimentación de las larvas de *Tenebrio molitor* influye en la biodegradación del poliestireno, dando validación a lo propuesto en esta investigación.

Chavesta Saavedra & Guerra Pérez (2019), en “Aprovechamiento de las condiciones alimentarias del Gorgojo negro común (*Tenebrio Molitor*) para la biodegradación del poliestireno en los Residuos Sólidos domiciliarios de la Planicie, 2019”, tuvo como objetivo evaluar el aprovechamiento de las condiciones alimentarias del gorgojo negro común (*Tenebrio molitor*) para la biodegradación del poliestireno en los residuos sólidos domiciliarios de la Planicie, 2019. La investigación fue de carácter experimental y descriptivo, donde la muestra fue de 180 larvas, divididas en dos grupos (A y B), el grupo “A” fue alimentado con Salvado de trigo y el grupo “B” con Poliestireno, subdivididas cada grupo en 3 partes iguales teniendo así, 30 larvas pequeñas, medianas y grandes por grupo. Concluyeron que la larva de *Tenebrio molitor* tiene la capacidad de poder degradar el Poliestireno gracias a la bacteria (*Exigobacterium sp.*) que presenta en su tracto digestivo, siendo de mayor

prevalencia de degradación en los estadios pequeños y mediano, ya que los valores presentados son en un 80 y 86% de degradación, lo que implica que son capaces de poder metabolizar este producto sintético sin afectar su ciclo vida y aportando un bien al ecosistema, ya que gracias a su condición alimentaria se ha podido obtener grandes resultados. Lo significativo de esta tesis está en que emplea el sustrato salvado de trigo y lo compara con un blanco, demostrando un grado alto de eficiencia en la biodegradación de EPS y brindando confiabilidad a los instrumentos empleados, debido a que la presente tesis emplea los mismos instrumentos.

Espinoza Pinchi (2018), en “Eficiencia de las larvas *Tenebrio molitor* y *Galleria mellonella* para la biodegradación de microplásticos de la playa Costa Azul, Ventanilla, Callao, 2018” tuvo como objetivo determinar la eficiencia de las larvas *Tenebrio molitor* y las Larvas *Galleria mellonella* para la biodegradación de microplásticos en la playa Costa Azul de Ventanilla, Callao 2018. La investigación fue experimental de carácter descriptivo, donde la muestra fue 30 g de residuos de polietileno, poliestireno expandido y tereftalato de polietileno (10 g cada uno) sometidos a 3 tratamientos por cada tipo de larva (*Tenebrio molitor* y *Galleria mellonella*). Los resultados indicaron que resulta eficiente el uso de las larvas *Tenebrio molitor* y *Galleria mellonella* para la biodegradación de los microplásticos como el EPS, cloruro de polivinilo y tereftalato de polietileno, encontrados en la playa costa azul ,Ventanilla, sin embargo la larva *Tenebrio molitor* resultó más eficiente evidenciando una disminución del peso final con respecto al inicial; el proceso de biodegradación en 15 días obtuvo un peso de 2.29 g biodegradado por la larva *Tenebrio Molitor* (54.2 %) frente a 4.09 g (18.2%) de la larva *Galleria mellonella*. La pertinencia de esta tesis radica en la comparativa frente a otras especies capaces de biodegradar residuos de plásticos (EPS, polietileno y tereftalato), mostrando la alta confiabilidad del *Tenebrio molitor* para biodegradar, además, los resultados que presentan contribuyen a los planteados en esta investigación.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. *Tenebrio molitor*

En este apartado se dará a conocer aspectos biológicos necesarios sobre el *Tenebrio molitor* para la comprensión y desarrollo de la presente investigación.

Según CABI Head Office (2019), el *Tenebrio molitor* fue descrito por Linnaeus en 1758, este insecto pertenece al orden Coleóptera, se encuentra ampliamente distribuido en todo el mundo. En español, se le denomina comúnmente como “gusano de la harina”.

Por otro lado, Soriano Salazar & Luna-Figueroa (2012) mencionan que:

El *Tenebrio molitor* es erróneamente llamado gusano, en su etapa larval, debido a que en realidad se trata de un escarabajo molinero. Este escarabajo tiene un color negro con patas y antenas rojas, además de poseer alas funcionales, aunque no puede volar. Su tamaño varía entre 15 y 18 mm, y su peso es de aproximadamente 0.1 g. Su ciclo de vida consta de cuatro etapas distintas: huevo, larva, pupa y adulto.

a. **Ciclo de vida del *Tenebrio molitor*:** a una temperatura de 28°C, el ciclo de vida de esta especie tiene una duración aproximada de 4 a 5 meses, dividido en cuatro etapas distintas (Soto, 2003):

- Primera etapa (Huevos): esta etapa se conoce como incubación y tiene una duración de 10 días.
- Segunda etapa (Larvas): es el periodo larval, que abarca un período de 2 a 3 meses. Durante esta etapa, la especie experimenta un crecimiento hasta alcanzar la madurez y se produce la muda de piel.
- Tercera etapa (Ninfas): después de la etapa larval, la especie entra en un estado de ninfa endurecida, que se caracteriza por tener una forma triangular y curvada, y es prácticamente inmóvil. Esta fase tiene una duración de 20 días.

- Cuarta etapa (Escarabajos): los escarabajos nacen de color marfil y, luego de transcurrir 2 a 3 días, experimentan un cambio de color hacia un tono marrón-negro, después de transcurrir 10 o 12 días desde su nacimiento, alcanzan la madurez sexual y pueden comenzar a poner huevos a los 10 días de haber alcanzado la madurez. Estos escarabajos tienen una esperanza de vida de aproximadamente 2 a 3 meses.

La duración de su ciclo vital es muy variable y depende, básicamente, de la temperatura y la alimentación.

Bajo una alimentación rica y variada, y a una temperatura de alrededor de 27°C, se produce una sucesión de generaciones en aproximadamente 10 a 12 semanas; sin embargo, a una temperatura de 20°C, el ciclo se ralentiza considerablemente, extendiéndose a unos 5 meses. A los 27°C, los escarabajos molineros alcanzan la madurez sexual entre 10 y 12 días después de su metamorfosis. Una semana después de aparearse, las hembras comienzan a poner huevos, que son enterrados en un sustrato blando. A lo largo de su vida, ponen varios cientos de huevos. Estos huevos, de forma alargada y color blanquecino, eclosionan en un plazo de 5 a 7 días, dando lugar a larvas amarillentas de aproximadamente 1.7 mm de longitud (Samsa, s.f.).

Respecto al desarrollo del *Tenebrio molitor*:

El estadio larvario puede durar de 6 a 7 semanas a 27°C, los gusanos de la harina experimentan de 9 a 12 mudas. El crecimiento se acelera en las dos últimas mudas, alcanzando una longitud de entre 25 y 28 mm de largo, con un grosor que oscila entre 2.5 y 3,5 mm, Una vez que alcanzan este tamaño, inician su transformación en pupa. Después de aproximadamente 2 semanas, la pupa se convierte en un escarabajo que mide entre 1.25 y 1.8 cm de longitud; pasado 1 o 2 días, los escarabajos, que nacen de color blanquecino, adquieren el distintivo color negro mate característico de los

tenebriónidos. Si las condiciones son adecuadas, un escarabajo puede vivir alrededor de 3 meses (Samsa, s.f.).

b. Parámetros para el desarrollo del *Tenebrio molitor*: la temperatura óptima para el desarrollo del *Tenebrio molitor* se encuentra entre los 25 y 27°C. Si la temperatura supera los 30°C, no podrá completar su ciclo de vida, mientras que a los 26°C alcanza el máximo nivel de ovoposición (Díaz Gámez, 2014).

Por otro lado, para un desarrollo óptimo, se recomienda mantener una humedad entre el 70% y el 80%, junto con una temperatura de 25 a 27°C; en estas condiciones, se necesitarán aproximadamente 200 días para completar el ciclo de vida (Gadzama & Happ, 1974).

c. Capacidad de degradación de EPS: Recientemente, Yang, y otros (2015) demostraron que las larvas del *Tenebrio molitor*, son capaces de masticar y comer EPS. Los gusanos de la harina son omnívoros y que sus bacterias intestinales juegan un papel importante en su capacidad para adaptarse a diferentes alimentos (Wang & Zhang, 2015).

Del aislamiento de una cepa bacteriana del tracto digestivo del *Tenebrio molitor* capaz de degradar el EPS; se sabe que la responsable es la *Exiguobacterium sp.* cepa YT2, debido a que puede formar un biofilm en el EPS por un período de incubación de 28 días y producir hoyos de aproximadamente 0,2 – 0,3 mm de ancho en las superficies del EPS por medio de la disminución de la hidrofobicidad y la formación de grupos polares C – O. Un cultivo en suspensión de la cepa YT2 (108 células / ml) puede degradar el 7,4 ± 0,4% de EPS (2500 mg / L) durante un período de incubación de 60 días (Yang, y otros, 2015).

La capacidad que tiene el *Tenebrio molitor* para degradar EPS, está relacionada con la etapa de crecimiento en la que se encuentra esta especie, siendo la óptima la etapa larval, donde ingiere grandes cantidades de alimento durante 2 a 3 meses para luego entrar a la etapa de ninfa o pupa.

Por otro lado, en el aislamiento de dos cepas del tracto intestinal del *Tenebrio molitor*: TM1 y ZM1, identificadas mediante secuenciación de rDNA 16S. Los resultados mostraron que TM1 y ZM1 eran bacterias Gram negativas en forma de bastón corto y similar a cocos. El ensayo de turbidez y placa de PS demostró que TM1 y ZM1 pudiéndose emplear EPS como fuente única de carbono (Tang, Kuo, & Liu, 2017).

Estos hechos son lo que confirman la presencia de bacterias intestinales que degradan el EPS por medio del *Tenebrio molitor*.

d. Parámetros físico – químicos para la degradación de EPS: Si bien el *Tenebrio molitor* puede degradar EPS debido a las bacterias que alberga en su tracto digestivo, requiere de ciertos factores o parámetros fisicoquímicos para optimizar el proceso de degradación. Estos son la temperatura, humedad, fotoperiodo, concentración de oxígeno, densidad de población, edad de los padres, calidad de alimentos y sustancias tóxicas (Yang, y otros, 2015).

Con el fin de mejorar la biodegradación de EPS, se recomienda agregar un sustrato, ellos emplearon una proporción acumulativa de salvado de trigo de 14:1 durante un periodo de 32 días; los resultados mostraron una degradación del 95% de EPS cuando se empleó la mencionada proporción, en comparación con una degradación del 90% cuando se utilizó exclusivamente el EPS sin sustrato (Yang & Wu, 2018b).

Si bien es cierto que la edad de los padres de las larvas influye para la degradación de EPS, este no guarda mayor significancia puesto que al controlar otros parámetros más importantes se puede optimizar esta actividad.

Como último parámetro se encuentran las sustancias tóxicas. Se demostró el efecto de la supresión de antibióticos para comprobar el grado de degradación de EPS en las larvas de *Tenebrio molitor*, emplearon gentamicina durante siete días, resultado la inhibición de la degradación de EPS, llegando a la conclusión que el microbiota del tracto intestinal es muy necesario (Yang & Wu, 2018b).

2.2.2. **Sustratos orgánicos**

Los sustratos orgánicos son los materiales de origen biológico que se utilizan como fuente de alimento para los microorganismos que llevan a cabo el proceso de biodegradación. En el contexto de la biodegradación de polímeros como el poliestireno expandido, los sustratos orgánicos son necesarios para estimular el crecimiento y la actividad de las larvas de *Tenebrio molitor*, que actúan como agentes biodegradadores al ingerir y metabolizar el material de poliestireno expandido.

Existen varios estudios que han investigado los sustratos orgánicos que se pueden utilizar para la biodegradación del poliestireno expandido empleando larvas de *Tenebrio molitor*. A continuación, se presentan algunos ejemplos de sustratos que se han utilizado en estas investigaciones:

- Pepino: Palmer, y otros (2022) emplearon 5 g de pepino enlatado de la marca Family Farms como nutriente suplementario en la alimentación de las larvas y escarabajos de *Tenebrio molitor*, resultando ser un sustrato orgánico eficaz en el proceso de biodegradación de EPS.
- Proteína en polvo: Palmer, y otros (2022), también emplearon como suplemento nutritivo 5 g de proteína en polvo de la marca Orgain con 2 g de agua en una pasta para facilitar la ingesta a las larvas y escarabajos de *Tenebrio molitor*, demostrando que resulta ser un sustrato eficaz en la biodegradación de EPS.
- Espinaca: Asimismo, Palmer, y otros (2022) utilizaron también 5 g de espinaca de la marca Good & Gather como suplemento nutritivo en la alimentación de las larvas y escarabajo de *Tenebrio molitor*, demostrando que resulta ser un sustrato eficaz para la biodegradación de EPS mediante las larvas de *Tenebrio molitor*.
- Rodajas de limón: Palmer, y otros (2022) emplearon, como suplemento nutritivo en la alimentación de las larvas y escarabajos de

Tenebrio molitor, 5 g de rodajas de limón de la marca Dole, demostrando que aumenta la biodegradación del EPS.

- Hojas vegetales: Chen (2005) utilizó hojas secas de vegetales como sustrato para las larvas de *Tenebrio molitor* y se demostró que aumentó la tasa de biodegradación del EPS en comparación con un control sin sustrato.
- Cáscaras: Chen (2005) empleó también cáscaras de verduras como papas, rábanos y algunas frutas como manzanas, plátanos y melón que han demostrado pueden ser un sustrato efectivo para la biodegradación del EPS por las larvas de *Tenebrio molitor*.

Es importante tener en cuenta que la elección del sustrato y las condiciones de biodegradación pueden influir en la tasa y eficacia de la biodegradación del EPS por las larvas de *Tenebrio molitor*.

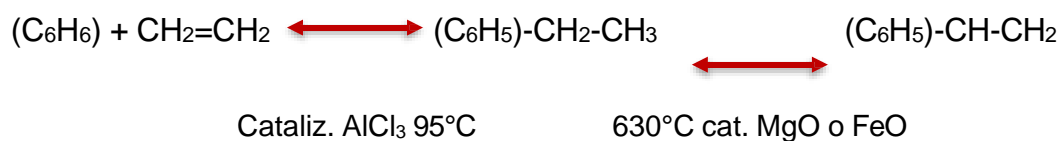
2.2.3. Residuos de EPS

A continuación, se presenta la caracterización y definición del poliestireno expandido (EPS).

a. Poliestireno expandido (EPS): el EPS es un tipo de plástico termoplástico que se forma mediante la polimerización del estireno en presencia de agua y un agente expansor. Está compuesto por una cadena de monómeros de estireno, este es un líquido transparente de baja viscosidad que se obtiene mediante la deshidrogenación y purificación del etilbenceno, el cual se forma a partir de la reacción del benceno con el etileno (Barrera Castro, 2016), como se muestra en la Figura 1.

Figura 1

Estructura de los procesos reactivos del benceno con el etileno



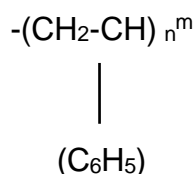
Nota: Tomado de "Formulación de una propuesta de gestión de residuos de poliestireno expandido Caso de estudio Empresa dedicada a la importación de alimentos", de Narvaez Suarez y Manrique Hernández. 2021, p. 20.

Asimismo, respecto al proceso de polimerización:

Este proceso se lleva a cabo generalmente a través de un método de adición, con el objetivo de obtener el polímero mostrado en la Figura 2. En este tipo de polimerización, los radicales libres son las partículas responsables de propagar las reacciones en cadena, cada uno de estos radicales se une a una molécula de monómero, formando un nuevo radical libre que se combina con otras moléculas para generar polímeros no cristalinos. Los polímeros resultantes no tienen un peso molecular específico, debido a que consisten en una mezcla de moléculas de diferentes pesos. La distribución de pesos moleculares en el poliestireno está determinada por la cantidad de moléculas Ni presentes en la fracción i-ésima (Barrera Castro, 2016).

Figura 2

Fórmula química condensada del poliestireno



Nota: Tomado de "Formulación de una propuesta de gestión de residuos de poliestireno expandido Caso de estudio Empresa dedicada a la importación de alimentos", de Narvaez Suarez y Manrique Hernández. 2021, p. 20.

El poliestireno se produce a partir del etilbenceno, el benceno se obtiene a partir de petróleo y el etileno a partir de gas natural.

Según las cifras de Ecoinvent, por cada kilo de poliestireno expandido se necesita 1.17 kg de petróleo y 1.01 m³ de gas natural. Además, cada kilo conlleva también la emisión de 7,3 kg CO₂ equivalentes y tiene una energía incorporada de unos 29 kWh, por tanto, su impacto de fabricación es elevado (Álvarez, 2010).

b. Obtención de EPS: Según la Asociación Nacional de Poliestireno Expandido – ANAPE (2009), el EPS se forma mediante un proceso de transformación que consta de tres etapas fundamentales.

Etapas de pre-expansión

En esta etapa, se realiza el calentamiento de la materia prima utilizando vapor de agua a temperaturas elevadas (entre 80 y 110°C), empleando máquinas especiales conocidas como pre-expansoras.

Etapas de reposo intermedio y estabilización

Una vez que las partículas expandidas se enfrían, se genera un vacío interno que debe ser equilibrado mediante la penetración de aire por difusión. Este proceso ocurre durante el periodo de reposo del material pre-expandido en silos ventilados, durante este tiempo, las perlas también se someten a un proceso de secado.

Etapas de expansión y moldeo final

En esta fase, las perlas pre-expandidas y estabilizadas se llevan a moldes donde se les suministra vapor de agua, lo que permite que las perlas se fusionen entre sí. Esto permite la creación de grandes bloques que luego pueden ser mecanizados en diversas formas, como planchas, bovedillas, cilindros, entre otros, o se transforman en productos finales con su acabado definitivo.

c. Propiedades de EPS: al igual que otras resinas, el EPS muestra una relativa inercia hacia los productos químicos inorgánicos. Es resistente a los álcalis, ácidos, agentes oxidantes y reductores. El EPS tiene propiedades particulares que lo hacen atractivo para varios sectores. A continuación, se

presentan las propiedades más destacadas del material (Molina Escobar & Cardona Montoya, 2013).

- Excelente aislante térmico.
- Presenta una buena resistencia mecánica a la flexión y compresión.
- Es un material inerte, seguro, duradero y compatible con el medio ambiente.
- Mantiene su dimensionalidad estable a lo largo del tiempo.
- Tiene una capacidad de absorción de agua muy baja.
- Es resistente al deterioro causado por el envejecimiento.
- Es ligero y fácil de manejar, transportar y colocar.
- Puede ser moldeado, cortado, perforado, lijado, doblado, clavado y atornillado según las necesidades.
- Se adhiere a superficies absorbentes y no absorbentes como madera, metal, hormigón y otros materiales. Fijado con adhesivos de base acuosa, sin disolventes tóxicos, contribuye a un uso compatible con el medio ambiente.
- Es un material autoextinguible, lo que significa que no genera partículas inflamadas cuando se expone al fuego.

Tabla 1*Propiedades físicas del poliestireno expandido (EPS)*

| Propiedad | Unidades | Valores margen de oscilación |
|---|-------------------|-------------------------------------|
| Densidad nominal | Kg/m ³ | 10 – 35 |
| Densidad mínima | Kg/m ³ | 9 – 31.5 |
| Espesor mínimo | mm | 50 – 20 |
| Conductividad térmica (10°C) | mW/(mK) | 46 – 33 |
| Tensión por compresión con deformación del 10% | KPa | 30 – 250 |
| Resistencia permanente a la compresión con una deformación del 2% | KPa | 15 – 70 |
| Resistencia a la flexión | KPa | 50 – 375 |
| Resistencia al cizallamiento | KPa | 25 – 184 |
| Resistencia a la tracción | KPa | < 100 – 580 |
| Módulo de elasticidad | MPa | < 1.5 – 10.8 |
| Indeformabilidad al calor instantánea | °C | 100 |
| Indeformabilidad al calor duradera con 20000 N/m ² | °C | 80 |
| Coefficiente de dilatación térmica lineal | 1/K (xE-5) | 5 – 7 |
| Capacidad térmica específica | J/(kgK) | 1210 |
| Clase de reacción al fuego | - | M1 – M4 |
| Absorción de agua en condiciones de inmersión al cabo de 7 días | % (Vol) | 0.5 – 1.5 |
| Absorción de agua en condiciones de inmersión al cabo de 28 días | % (Vol) | 1 – 3 |
| Índice de resistencia a la difusión de vapor de agua | - | < 20 – 120 |

Nota: Tomada de *Propiedades físicas del poliestireno*, de Molina Escobar & Cardona Montoya, 2013, p. 17.

2.2.4. Biodegradación de residuos de EPS

a. Biodegradación de plásticos: la biodegradación o biorremediación es un proceso metabólico y enzimático realizado por microorganismos, como bacterias y hongos. Estos microorganismos liberan enzimas que descomponen la estructura molecular del plástico, lo que resulta en una reducción de su peso con el tiempo (Arutchelvi, y otros, 2008).

La comunidad científica acepta ampliamente la biodegradación debido a su eficacia, debido a que los microorganismos atacan a la superficie del plástico y lo utilizan como fuente de carbono para su crecimiento, lo que implica que lo consumen y lo degradan, ya sea en condiciones aeróbica o anaeróbicas.

Los avances en ingeniería genética han posibilitado la creación de organismos transgénicos. La biorremediación aprovecha esta tecnología para abordar diversos problemas de contaminación; en consecuencia, numerosos grupos de investigación se encuentran trabajando en el desarrollo de plantas y microorganismos genéticamente modificados con el objetivo de mejorar su capacidad como agentes de biorremediación, esto implica una degradación más efectiva y eficiente de los agentes contaminantes (El Cuaderno de Por Qué Biotecnología, 2006).

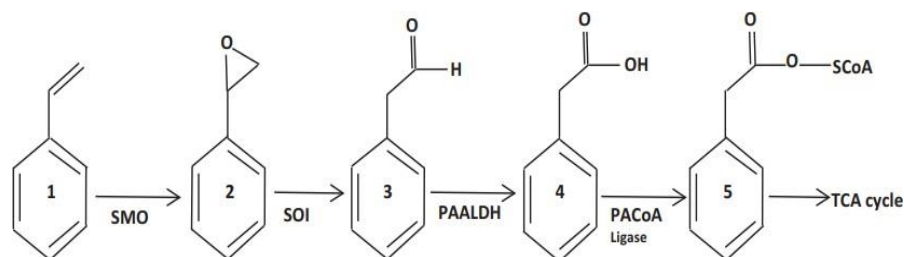
Para realizar el proceso de biorremediación hay tres tipos de procedimientos: remediación microbiana, degradación enzimática y fitorremediación.

b. Mecanismo de biodegradación de poliestireno expandido: La biodegradación del EPS inicia cuando los microorganismos comienzan a colonizar la superficie del material y liberan enzimas para descomponer el polímero en fragmentos más pequeños conocidos como oligómeros. Algunos microorganismos pueden emplear el propio estireno como fuente de carbono para su crecimiento. Por ejemplo, se demostró que el *Rhodococcus ruber* forma biopelículas en PS y lo degrada parcialmente (Mor & Siván, 2008).

También existe una ruta principal mediante la cual el EPS puede ser biodegradado, esta implica la oxidación del estireno a fenilacetato, oxidación realizada a través del ciclo de ácido tricarbóxico (TCA) (Ho, Roberts, & Lucas, 2017), tal como se muestra en la Figura 3.

Figura 3

Degradación de estireno



1- Estireno, 2- Óxido de estireno, 3- Fenil acetaldehído, 4- Ácido fenilacético, 5-fenilacético coenzima. SMO; estireno mono oxigenasa, SOI: estireno óxido isomerasa. PAALDH: fenilacetaldehído deshidrogenasas, PACoA ligasa: fenilacetil A ligasa.

Nota: Adaptado de “An overview on biodegradation of polystyrene and modified polystyrene: the microbial approach”, por Ho, Roberts, & Lucas. 2017, p. 3.

2.3. Marco conceptual

2.3.1. Larvas de *Tenebrio molitor*

Según Yang, y otros (2015), la larva de *Tenebrio molitor* es una etapa de crecimiento en la que se encuentra esta especie, siendo la óptima la etapa de larva, donde ingiere grandes cantidades de alimento durante 2 a 3 meses para luego entrar a la etapa de ninfa o pupa. La capacidad de degradación que tiene el *Tenebrio molitor* en su etapa larvaria está relacionada directamente a la composición de microorganismos y bacterias que albergan en el tracto digestivo del insecto.

Por su parte, Haines (1991) menciona que:

Las larvas de *Tenebrio molitor*, también conocidas como gusano de harina o tenebrio, son insectos que experimentan una

metamorfosis completa, pasando por cuatro etapas: huevo, larva, pupa y adulto. Las larvas tienen aproximadamente 4 cm de longitud y presentan un color amarillento con anillos más oscuros en su cuerpo.

Por lo que es pertinente plantear que las larvas de *Tenebrio molitor* son insectos coleópteros cosmopolitas que se adaptan a casi cualquier medio y son capaces de degradar residuos de materiales plastificados puesto que poseen en su tracto digestivo bacterias capaces de llevar a cabo esa función.

2.3.2. Sustratos orgánicos

Respecto a los sustratos orgánicos, el EFSA Scientific Committee (2015) señala que son materiales orgánicos utilizados como fuente de nutrientes para la cría de insectos. Sustrato es el término general que se aplicará a estos materiales (harina de trigo, hojarasca, cáscaras de papa) como alimento para insectos a lo largo del dictamen; estos sustratos orgánicos pueden administrarse considerando una proporción de masas (masa del sustrato y masa del EPS).

Para Oonincx, van Broekhoven, van Huis, & van Loon (2015), los sustratos orgánicos son materiales orgánicos que proporciona los nutrientes necesarios para el desarrollo y crecimiento de insectos criados con fines alimentarios, como residuos de granos, hojas y subproductos agrícolas.

Por lo que es pertinente plantear que los sustratos orgánicos son materiales de origen biológico que son capaces de suministrar una cantidad adecuada de nutrientes facilitando el proceso de biodegradación.

2.3.3. Residuos de EPS

Según Thiel, Hirth, & Brenner (2018) mencionan que los residuos de EPS son restos de poliestireno expandido generado en la cadena de suministro y distribución de productos. Estos residuos pueden incluir bandejas, envoltorios y protectores empleados durante el transporte y almacenamiento de productos frágiles para protegerlos y asegurarlos.

Por su parte, Jang (2020) define a los residuos de EPS, en el sector construcción, como restos de poliestireno expandido utilizados en aplicaciones

relacionadas con el sector construcción (aislamiento térmico, paneles de construcción y encofrado perdido). Son generados durante la instalación, remodelación o demolición de edificios que presentan dificultades en su manejo debido a su volumen y dificultad para compactarlos.

Por lo que es pertinente plantear que los residuos de EPS son material de descarte eliminados cerrando el ciclo de su cadena de producción y que se presentan en diferentes formas como productos para embalaje, productos para almacenamiento de alimentos y envolturas de electrodomésticos.

2.4. Definición de términos básicos

2.4.1. *Biodegradación de residuos de EPS*

La biodegradación se refiere a la degradación y asimilación de los polímeros por los organismos vivos, principalmente microorganismos tales como hongos, bacterias y actinomicetos. El término se puede ampliar para incluir la asimilación por insectos, roedores y otros animales, incluidos los humanos (Posada Bustamante, 1994).

2.4.2. *Efecto*

El efecto hace referencia a las alteraciones en las características físicas o químicas de un material o sistema debido a la interacción con otras sustancias o condiciones del entorno; por lo que, en la presente investigación, el efecto está referido a la variación de la masa de los residuos de EPS y al porcentaje de masa de residuos de EPS biodegradada (Atkins & Jones, 2010).

2.4.3. *Eficiencia*

La eficiencia implica maximizar la utilización de recursos naturales y energía de manera óptima, reduciendo al mínimo las emisiones, los residuos y los efectos negativos en el entorno, con el objetivo de promover un desarrollo sostenible. La eficiencia será medida como la variación de la masa de los

residuos de EPS y al porcentaje de masa de residuos de EPS biodegradada (Allenby & Richards, 2011).

2.4.4. Longitud

La longitud se refiere a la medida de la dimensión de un organismo en una dirección lineal, como la longitud de un hueso o la longitud de un insecto (Campbell & Reece, 2007).

2.4.5. Masa (De sustratos orgánicos)

La masa de sustratos orgánicos se refiere a la cantidad total de materiales orgánicos utilizados como alimento o sustrato para la cría y desarrollo de insectos (Morales-Ramos, Rojas, & Shapiro-Ilan, 2014).

2.4.6. Número de individuos (larvas)

El número de individuos es una medida cuantitativa de la densidad larval en un área o hábitat específico. Esta medida se obtiene contando y registrando el número de larvas presentes en una muestra o unidad de muestreo (Krebs, 2014).

2.4.7. Proporción de sustrato / EPS

La proporción entre sustrato y residuo de poliestireno expandido se refiere a la cantidad de sustrato utilizado para biodegradar una determinada cantidad de residuos de poliestireno expandido (Datta, Singh, Singh, & Singh, 2016).

2.4.8. Residuos de EPS

Son materiales de desecho compuestos por poliestireno expandido que han sido empleados en el embalaje de productos frágiles o delicados como bandejas de poliestireno utilizadas para empacar electrodomésticos.

2.4.9. Sustratos orgánicos

Son materiales que sirven como fuente de alimento para las larvas de *Tenebrio molitor*, capaces de ayudar y complementar el proceso de

biodegradación de poliestireno expandido, como por ejemplo salvado de trigo, cáscaras de papa, hojas secas, desechos orgánicos, residuos de alimentos, entre otros.

III. HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1. Hipótesis

3.1.1. *General*

Las larvas de *Tenebrio molitor* con sustratos orgánicos son eficientes en la biodegradación de los residuos de EPS.

3.1.2. *Específicas*

- El efecto de las larvas de *Tenebrio molitor* con sustratos orgánicos en la biodegradación de los residuos de EPS es positivo.
- La eficiencia de las larvas de *Tenebrio molitor* con sustratos orgánicos en la biodegradación de los residuos de EPS identifica al sustrato óptimo.
- La eficiencia de las larvas de *Tenebrio molitor* con sustratos orgánicos en la biodegradación de los residuos de EPS identifica a la dosis óptima.

3.2. Operacionalización de variables

A continuación, en la Tabla 2, se presenta una matriz de Operacionalización de las variables.

Tabla 2

Matriz de Operacionalización de Variables

| VARIABLE | DEFINICIÓN CONCEPTUAL | DEFINICIÓN OPERACIONAL | DIMENSIONES | INDICADORES | TÉCNICAS INSTRUMENTOS | |
|--|--|---|--|--|-----------------------|--------------------|
| VARIABLE INDEPENDIENTE: Larvas de <i>Tenebrio molitor</i> con sustratos orgánicos | Es la etapa juvenil del insecto. En esta etapa que dura de 2 a 3 meses, las larvas tienen una alta capacidad para consumir grandes cantidades de alimento, capacidad que está vinculada con la biodegradación y a su vez a la presencia de microorganismos y bacterias presentes en el tracto digestivo del insecto. (Yang, y otros, 2015) | Se medirá la interacción entre las larvas de <i>Tenebrio molitor</i> que se encuentran en su segunda etapa de ciclo de vida y los sustratos orgánicos utilizados como fuente de nutrientes. Esto implicará la observación, registro de la actividad, cambios físicos de las larvas mientras se alimentan y se desarrollan en los sustratos orgánicos seleccionados. | Segunda etapa de ciclo de vida del <i>Tenebrio molitor</i> | Número de individuos (larvas) | Ficha de observación | |
| | Por otro lado, los sustratos orgánicos son materiales de origen biológico que contienen alta carga de materia orgánica beneficiosa para usarla como alimento, medio de cultivo o soporte para el desarrollo de organismos vivos. (EFSA Scientific Committee, 2015) | | | | Longitud | Vernier |
| | | | | | Masa | Balanza Científica |
| VARIABLE DEPENDIENTE: | Son los desechos de residuos | Los residuos de EPS serán | sólidos de poliestireno | Proporción de sustrato / EPS | Balanza Científica | |
| | | Residuos EPS | | expandido que fueron generados principalmente por la eliminación | | |

de envases, bandejas y productos elaborados de este material, residuos de la construcción y otros materiales usados en la industria. (Thiel, Hirth, & Brenner, 2018)

medidos a través del cambio de sus propiedades físicas, llevando un control sistemático sobre el efecto y la eficiencia de los sustratos orgánicos y las larvas en su biodegradación

Cambio de propiedades físicas

Efecto
Balanza Científica

Eficie

CASERO
E D O E O T W T O

IV. METODOLOGÍA DEL PROYECTO

4.1. Diseño metodológico

La presente investigación es de tipo aplicada puesto que se enfoca en la aplicación de los resultados de la investigación básica en la práctica profesional, y busca resolver problemas prácticos del mundo real (Kerlinger & Lee, 2000). Asimismo, posee un enfoque cuantitativo debido a que se basa en la medición y cuantificación de variables, utilizando técnicas de muestro aleatorio y análisis estadístico para obtener resultados generalizables y objetivos (Jhonson, y otros, 2019).

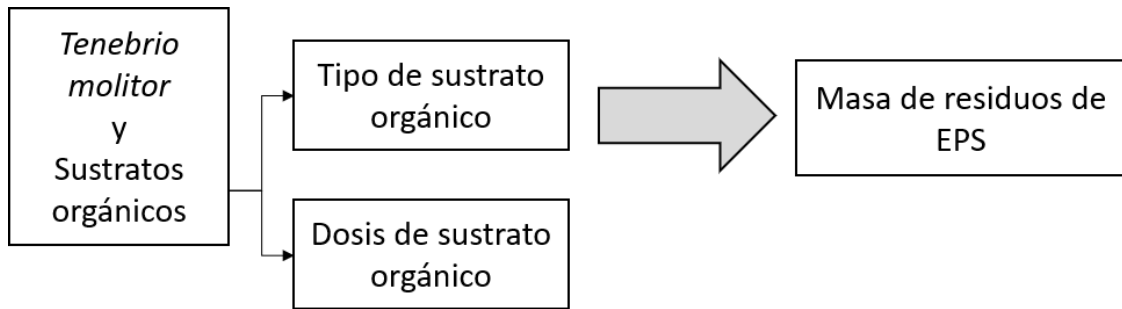
Por otro lado, el diseño de la investigación es experimental puesto que implica la manipulación deliberada de variables independientes para observar y medir los efectos resultantes en las variables dependientes con el fin de establecer relaciones causales, la presente investigación realizó la manipulación de las larvas de *Tenebrio molitor* y sustratos orgánicos para analizar las consecuencias en la biodegradación de residuos de EPS (Campbell, y otros, 2015).

Finalmente, la investigación también es de diseño longitudinal debido a que se busca realizar una serie de mediciones a lo largo del tiempo en un grupo de individuos con el objetivo de observar los cambios que ocurren (Kerlinger & Lee, 2000).

Respecto al diseño experimental, este sigue un modelo 4 x 4, tal como se muestra en la Figura 4, en la que el factor sustrato tiene las categorías: blanco, cáscaras de papa, hojarasca y salvado de trigo, y el factor dosis tiene las categorías: 0%, 25%, 50% y 75%.

Figura 4

Diseño experimental



CATEGORÍAS DE LOS FACTORES

| Tipo de sustrato orgánico | Dosis de sustrato orgánico |
|---------------------------|----------------------------|
| Blanco | 0% |
| Cáscaras de papa | 25% |
| Hojarascas | 50% |
| Salvado de trigo | 75% |

4.2. Método de investigación

El método observacional implica la recopilación sistemática y objetiva de datos a través de la observación directa de fenómenos naturales o situaciones específicas; en referencia a la presente investigación, se realizó la observación de la realidad problemática para luego realizar una descripción de esta; asimismo, permitió el hallazgo de teorías enfoques conceptuales definición de términos básicos (White & McBurney, 2013).

Se empleó también el método documental debido a que consiste en la recopilación y análisis sistemático de documentos escritor y fuentes de información existentes como medio para obtener datos y evidencia para la investigación científica (Booth, Sutton, & Papaioannou, 2016). Esta metodología se utiliza para revisar, sintetizar y evaluar la literatura existente en un área de estudio específica, permitiendo fundamentar y contextualizar la investigación.

Asimismo, se utilizó el método estadístico que es un conjunto de técnicas matemáticas que se utilizan para analizar datos numéricos con el fin de describir, resumir y hacer inferencias sobre la población a partir de la muestra (Hair Jr., Black, Babin, & Anderson, 2019). Este método es una herramienta fundamental en la investigación de tesis de ingeniería ya que permite realizar un análisis riguroso y objetivo de los datos obtenidos y tomar decisiones informadas en función de los resultados.

Por último, se empleó el método hipotético-deductivo que se define como un proceso científico basado en la formulación de una hipótesis, la realización de experimentos para probarla y la obtención de conclusiones a partir de los resultados obtenidos (Popper, 1980). Este método implica la aplicación de principios lógicos y matemáticos para evaluar la hipótesis y obtener información acerca de su validez, nos proporciona un marco riguroso y sistemático para la formulación y evaluación de hipótesis.

La investigación se realizó mediante cuatro etapas:

4.2.1. Etapa I: Obtención de materiales

Para la obtención de las larvas de *Tenebrio molitor*, se compró un millar y medio (1500) de individuos de esta especie. En el caso de los residuos de EPS, se empleó el utilizado en el embalaje de productos electrónicos. Para la obtención de los sustratos orgánicos, se compró salvado de trigo (aproximadamente 1kg), se hizo una recolección de rastrojos y de materia orgánica, en este caso cáscara de papas. Por último, se empleó un recipiente de vidrio de dimensiones 40x30x10 cm, dividido en doce (12) celdas de 10x10x10 cm.



4.2.2. Etapa II: Caracterización de larvas de *Tenebrio molitor*

En esta etapa, luego de la adquisición de 1500 larvas de *Tenebrio molitor*, se procedió a criarlas con el fin de obtener descendientes que tengan edades y tamaños similares; éstas fueron criadas bajo el sustrato de salvado de trigo durante el tiempo de dos meses, lográndose evidenciar sus etapas de desarrollo (huevo, larva, pupa y escarabajo). En la Tabla 3, se muestra el proceso de

caracterización de las larvas de *Tenebrio molitor* realizada para realizar la parte experimental de la presente experimentación.

Tabla 3

Caracterización biológica del Tenebrio molitor

| Imagen | Descripción de la caracterización |
|---|---|
|  | <p>Inicialmente, el 9 de enero de 2023, se adquirieron 1500 larvas de <i>Tenebrio molitor</i> procedentes de una microempresa especializada en la producción y comercialización de alimento vivo, lo que permitió el comienzo de la caracterización biológica.</p> <p>Para comprender y caracterizar el ciclo de vida de estos organismos, se emplearon diversas referencias bibliográficas orientadas en el desarrollo de estos.</p> |
|  | <p>Para la crianza de las larvas, se utilizó un recipiente de plástico hermético con agujeros en la parte superior para facilitar el ingreso del oxígeno, se les suministró como alimento salvado de trigo. Asimismo, el recipiente fue cubierto para evitar su exposición a la luz y favorecer el desarrollo de las larvas.</p> |

| Imagen | Descripción de la caracterización |
|--|--|
|   | <p>En las siguientes semanas, se observaron cambios en su estructura física: cambios de piel (mudas) y, en el caso de algunas larvas, pasaban a la fase de pupa; es aquí donde se comenzó a realizar una observación constante durante un periodo de 2 meses en el que se pudo contrastar y comparar lo descrito en las referencias bibliográficas sobre el desarrollo de vida de las larvas.</p> <p>Como las larvas obtenidas eran de tamaño grande, no tardaron en entrar a la etapa de pupa por lo que se pudo observar que en ese estado permanecen inmóviles y entran en un período de latencia, lo que las hace susceptibles a convertirse en alimento para las que aún son larvas, confirmando que esta especie puede recurrir al canibalismo, por lo que se procedió a separarlas.</p> <p>Al cabo de aproximadamente 20 días, los escarabajos emergieron de su estado de pupa, evidenciándose que este organismo presenta un exoesqueleto blando de color blanco, el cual se va endureciendo y adquiere tonalidades de marrones claras a negras.</p> |

| Imagen | Descripción de la caracterización |
|---|---|
|   | <p data-bbox="778 331 1394 658">Durante su etapa de escarabajo, son seres aptos para reproducirse sexualmente, las hembras pueden llegar a depositar entre 70 a 100 huevos, estos no pudieron ser observados debido a su tamaño microscópico. Según las fuentes bibliográficas, los huevos eclosionan a los 10 días.</p> <p data-bbox="778 712 1394 994">Recién al mes de haber iniciado su estado de pupa, se pudo observar la aparición de larvas muy pequeñas que fueron creciendo, a medida que se alimentaban con salvado de trigo. Estas larvas nuevas son la que fueron utilizadas en la presente investigación.</p> |
|  | <p data-bbox="778 1167 1394 1406">Una vez que las nuevas larvas alcanzaron un tamaño adecuado (10 mm a más), fueron extraídas del recipiente donde fueron criadas para colocarlas en el recipiente de vidrio e iniciar con la etapa de experimentación.</p> |

4.2.3. *Etapa III: Experimentación*

En esta etapa, se realizó la experimentación de la investigación.

Primero, se preparó el EPS a emplearse, este fue cortado en trozos para facilitar la ingestión del material por parte de las larvas.

Luego, se distribuyeron los sustratos orgánicos y el EPS a diferentes concentraciones por cada celda, tal como se muestra en la Figura 5. En el caso de la distribución de las larvas de *Tenebrio molitor*, en cada celda se colocaron cien (100) individuos, cabe precisar que cada grupo estuvo compuesto por larvas pequeñas y medianas debido a que durante la crianza no se logró obtener un tamaño uniforme.

A partir del primer día se efectuó la distribución de material y de larvas, con una frecuencia de dos veces por semana y durante treinta (30) días, se recopiló información del peso del EPS, peso de las larvas, número de larvas y de las características morfológicas de las larvas (color y longitud), con el propósito de obtener una evolución de la biodegradación de los residuos de EPS a través del tiempo y comparar cada uno de los resultados, para que finalmente se evalúe la aplicación de larvas de *Tenebrio molitor* y sustratos orgánicos en la biodegradación de residuos de poliestireno expandido (EPS).

Figura 5

Distribución de sustratos orgánicos y EPS

| EPS (blanco) | Salvado de trigo | Cáscara | Hojarascas |
|----------------------------|---|---|--|
| CELDA 1 Solo EPS | CELDA 6 Dosis de Sustrato: 75% | CELDA 7 Dosis de Sustrato: 75% | CELDA 12 Dosis de Sustrato: 75% |
| CELDA 2 Solo EPS | CELDA 5 Dosis de Sustrato: 50% | CELDA 8 Dosis de Sustrato: 50% | CELDA 11 Dosis de Sustrato: 50% |
| CELDA 3 Solo EPS | CELDA 4 Dosis de Sustrato: 25% | CELDA 9 Dosis de Sustrato: 25% | CELDA 10 Dosis de Sustrato: 25% |

4.2.4. *Etapa IV: Recopilación y análisis de datos*

En esta última etapa, se empleó el programa Microsoft Excel para el análisis de los datos obtenidos en la etapa experimental y para la evaluación del porcentaje de biodegradación de EPS para cada dosis de sustrato y tipo de sustrato.

Se elaboraron gráficas de los resultados obtenidos y se compararon los resultados de cada concentración para definir cuál es la óptima para la biodegradación de EPS. Por último, se realizó la interpretación de resultados con su respectiva descripción detallada y entendible.

4.3. Población y muestra

4.3.1. *Población*

Los residuos de EPS generados en el sector industrial producto del embalaje o protección de electrodomésticos y equipos eléctricos.

4.3.2. *Muestra*

La muestra estuvo conformada por un total de 7.5 g de residuos de EPS los cuales fueron distribuidos en doce (12) grupos:

- Tres (3) grupos conformados por 1 g de residuos de EPS.
- Tres (3) grupos conformados por 0.75 g de residuos de EPS.
- Tres (3) grupos conformados por 0.50 g de residuos de EPS.
- Tres (3) grupos conformados por 0.25 g de residuos de EPS.

4.4. Lugar de estudio

El lugar de estudio fue el laboratorio de la Facultad de Ingeniería Ambiental y de RR.NN. de la Universidad Nacional del Callao, ubicado en el distrito de Bellavista, región Callao.

4.5. Técnicas e instrumentos para la recolección de la información

4.5.1. Técnicas para la recolección de la información

Como técnica, se empleó la observación experimental, aplicada a las variables de la investigación con el fin de recolectar información sobre el fenómeno de biodegradación de los residuos de EPS; también se utilizó la observación sistemática puesto que el grado de control dependió de los instrumentos que se emplearon.

4.5.2. Instrumentos para la recolección de la información

Como instrumentos para la recolección de la información, se emplearon una balanza analítica para medir la masa de los residuos de EPS; así como, un vernier electrónico, para medir la longitud de las larvas. Asimismo, se emplearon fichas de observación en donde se registraron las características morfológicas (color y longitud) de las larvas de *Tenebrio molitor* y el número de individuos (Ficha 1). También se utilizaron fichas de registro donde se anotaron el peso de los residuos de EPS (Ficha 2) y el porcentaje de biodegradación de estos (Ficha 3). Se registraron datos en 9 fechas de 30 días de experimentación, dichos datos fueron registrados en las fichas mencionadas, ver Anexo: Instrumentos para la recolección de datos.

Por otro lado, como instrumentos, se emplearon balanzas científicas, vernier y fórmulas de cálculo.

Tabla 4*Resumen de técnicas e instrumentos de recolección de datos*

| ETAPA | FUENTE | TÉCNICA | INSTRUMENTO | RESULTADOS |
|--|---|-------------|---|---|
| Distribución de residuos de EPS y sustratos a diferentes concentraciones | Masa de residuos de EPS | Observación | Balanza analítica, Evidencia fotográfica, Ficha N°2 | Datos obtenidos del pesaje de materiales y del formato |
| Distribución de larvas en las celdas | Número de larvas de <i>Tenebrio molitor</i> | Observación | Evidencia fotográfica, Ficha N°1 | Datos obtenidos del formato |
| Comparación de los resultados por cada celda | Residuos de EPS biodegradados | Observación | Evidencia fotográfica, Ficha N°3 | Datos obtenidos del formato, Análisis y discusión de resultados |

4.6. Análisis y procesamiento de datos

El análisis de datos es de carácter cuantitativo y el procesamiento de los datos recopilados se realizó de forma estadística a través de gráficos, tablas descriptivas, cuadros y diagramas de bloques que puedan explicar de forma clara los resultados del proceso de investigación por medio de softwares como Excel y Jamovi.

Para el análisis estadístico y el tratamiento de datos, se utilizaron los programas estadísticos Jamovi Versión 2.3.26.0 empleando prueba paramétrica ANOVA de un factor.

1. Primero se determinó las variables y sus categorías para procesar la información mediante la prueba ANOVA.
2. Luego se determinaron los siguientes supuestos:
 - Supuesto de Normalidad
 - Supuesto de Homogeneidad de Levene

- Supuesto de Independencia
 - Supuesto de Interacción aditiva
3. Por último, se determinó si existen diferencias significativas entre grupos independientes.

4.7. Aspectos Éticos en Investigación

En esta investigación, se han tomado en cuenta aspectos éticos importantes relacionados con el uso adecuado de la información y la propiedad intelectual. En primer lugar, se ha procurado utilizar únicamente fuentes confiables y verificables, se ha realizado una debida atribución a los autores y creadores de dichas fuentes, con el objetivo de reconocer su contribución y evitar la apropiación indebida de su trabajo. La falta de atribución o el uso indebido de ideas puede ser visto como un comportamiento poco ético e incluso constituir un acto de plagio (Eysenbach, 2006). Por lo tanto, se ha tenido en cuenta la importancia de citar correctamente las fuentes y autores de los aportes científicos y técnicos utilizados en esta investigación, con el objetivo de evitar cualquier tipo de cuestionamiento ético en relación con el uso de dicha información.

El informe de tesis que se presenta se preocupa por cumplir con los aspectos éticos contemplados en el Código de Ética de Investigación, que fue aprobado mediante la resolución 17-R-260-19-CU.

V. RESULTADOS

5.1. Resultados descriptivos

5.1.1. Efecto de las larvas de *Tenebrio molitor* con sustratos orgánicos en la biodegradación de residuos de EPS

Como se muestra en la Tabla 5, la masa de los residuos sólidos de EPS se vio afectada en los doce grupos del experimento, disminuyendo con el pasar de los días, notándose que la mayor variación fue de 0.256 g y se presentó en el grupo G3, tal como se observa en la Figura 6. Asimismo, se puede notar que las variaciones de masa de los grupos con sustratos orgánicos, a diferencia de los grupos en blanco, presentan una variación más notoria.

Figura 6

*Variación de la masa de residuos sólidos de EPS biodegradada por las larvas de *Tenebrio molitor**

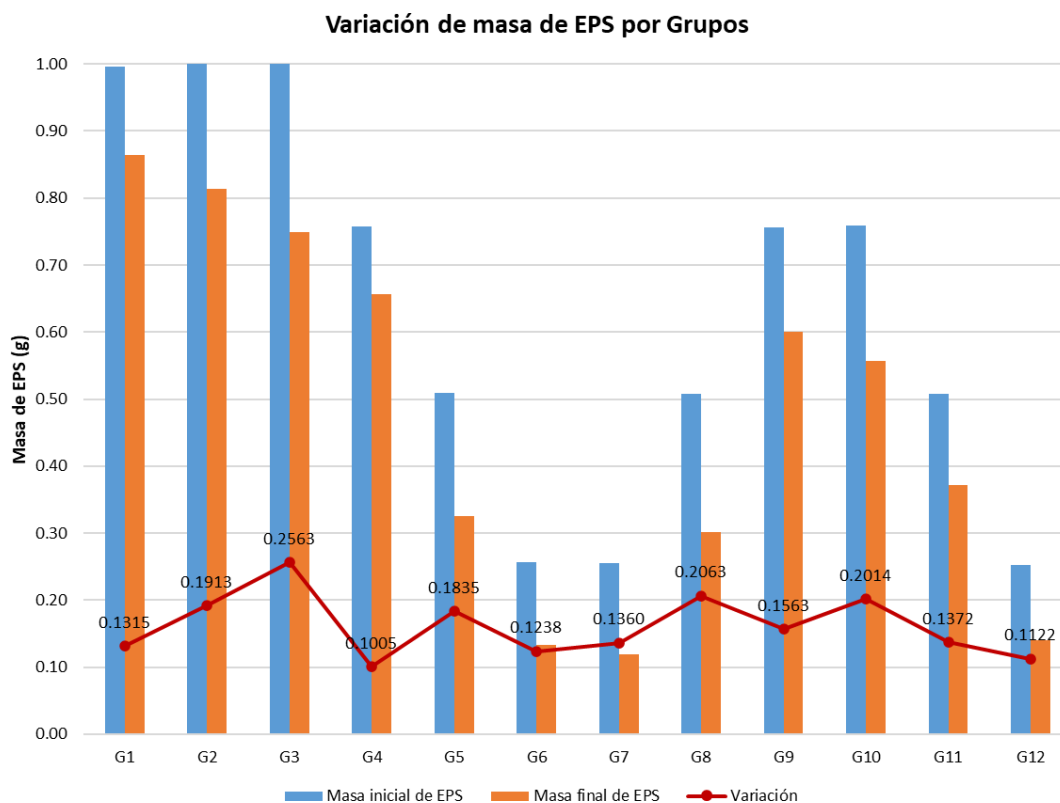


Tabla 5

Masa de residuos de EPS biodegradada mediante las larvas de Tenebrio molitor

| | | | Día 0 | Día 1 | Día 2 | Día 3 | Día 4 | Día 5 | Día 6 | Día 7 | Día 8 | Variación |
|-------------------|--------|-------|-----------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|---------------|
| | | | 03/05/23 | 06/05/23 | 10/05/23 | 13/05/23 | 18/05/23 | 20/05/23 | 24/05/23 | 31/05/23 | 03/06/23 | |
| Sustrato orgánico | Grupos | Dosis | Masa de EPS (g) | | | | | | | | | |
| Blanco | G1 | 0 | 0.9964 | 0.9723 | 0.9431 | 0.9382 | 0.9068 | 0.9003 | 0.8838 | 0.8653 | 0.8649 | 0.1315 |
| | G2 | 0 | 1.0051 | 0.9742 | 0.9262 | 0.9086 | 0.8550 | 0.8512 | 0.8327 | 0.8194 | 0.8138 | 0.1913 |
| | G3 | 0 | 1.0051 | 0.9443 | 0.8935 | 0.8519 | 0.8257 | 0.7897 | 0.7721 | 0.7543 | 0.7488 | 0.2563 |
| Cáscara de papas | G4 | 25% | 0.7573 | 0.7353 | 0.7246 | 0.7181 | 0.7047 | 0.6816 | 0.6716 | 0.6634 | 0.6568 | 0.1005 |
| | G5 | 50% | 0.5093 | 0.4816 | 0.4250 | 0.4048 | 0.3800 | 0.3599 | 0.3544 | 0.3307 | 0.3258 | 0.1835 |
| | G6 | 75% | 0.2567 | 0.2445 | 0.2186 | 0.2036 | 0.1708 | 0.1489 | 0.1380 | 0.1368 | 0.1329 | 0.1238 |
| Hojarasca | G7 | 75% | 0.2557 | 0.2308 | 0.2024 | 0.1942 | 0.1743 | 0.1459 | 0.1383 | 0.1253 | 0.1197 | 0.1360 |
| | G8 | 50% | 0.5080 | 0.4585 | 0.4170 | 0.3924 | 0.3618 | 0.3388 | 0.3279 | 0.3105 | 0.3017 | 0.2063 |
| | G9 | 25% | 0.7564 | 0.7399 | 0.7168 | 0.6936 | 0.6734 | 0.6545 | 0.6137 | 0.5980 | 0.6001 | 0.1563 |
| Salvado de trigo | G10 | 25% | 0.7586 | 0.7125 | 0.6595 | 0.6291 | 0.6086 | 0.5786 | 0.5650 | 0.5591 | 0.5572 | 0.2014 |
| | G11 | 50% | 0.5084 | 0.4683 | 0.4560 | 0.4491 | 0.3996 | 0.3803 | 0.3794 | 0.3737 | 0.3712 | 0.1372 |
| | G12 | 75% | 0.2518 | 0.2285 | 0.2093 | 0.2024 | 0.1863 | 0.1676 | 0.1599 | 0.1421 | 0.1396 | 0.1122 |

En el caso del porcentaje de biodegradación, en la Tabla 6 y la Figura 7, se observa que los porcentajes varían entre un 13% y 53%, evidenciándose que los grupos con sustratos orgánicos (G4, G5, G6, G7, G8, G9, G10, G11 y G12) presentaron una mayor biodegradación a diferencia de los grupos en blanco (G1, G2 y G3).

Figura 7

Porcentaje de biodegradación de residuos de EPS mediante larvas de Tenebrio molitor

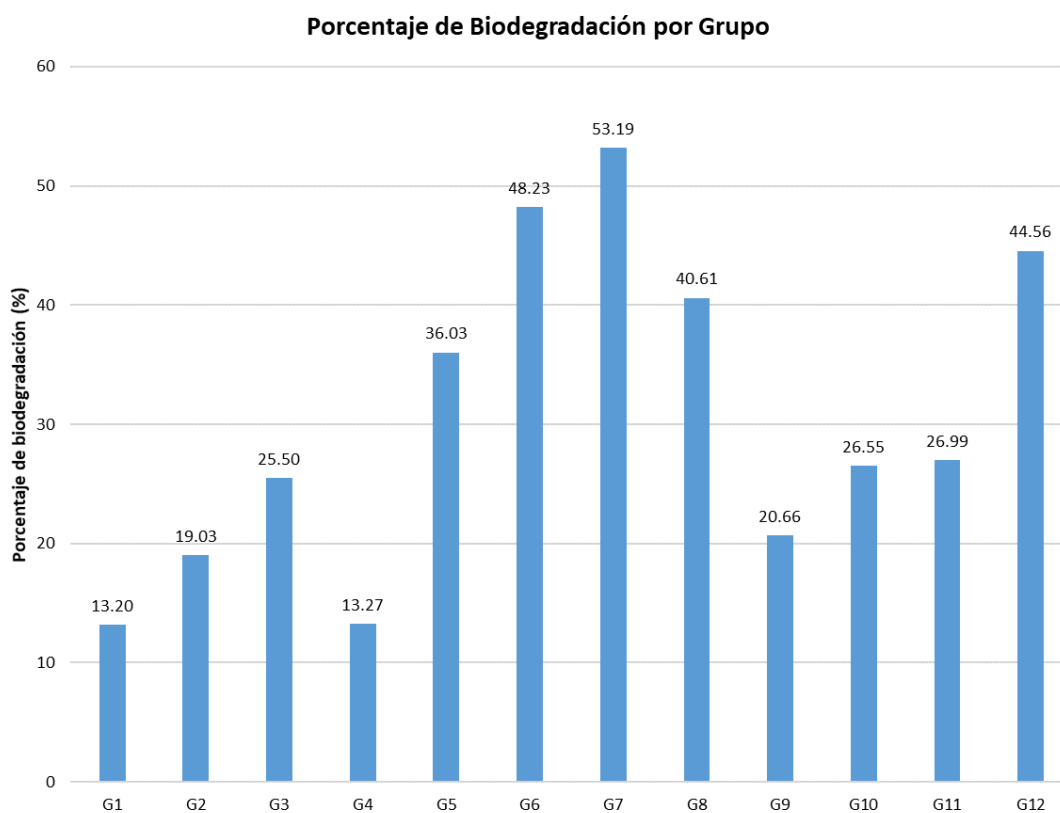


Tabla 6*Porcentaje de biodegradación de residuos de EPS mediante las larvas de Tenebrio molitor*

| | | | Día 1 | Día 2 | Día 3 | Día 4 | Día 5 | Día 6 | Día 7 | Día 8 |
|-------------------|--------|-------|----------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|--------------|
| | | | 06/05/23 | 10/05/23 | 13/05/23 | 18/05/23 | 20/05/23 | 24/05/23 | 31/05/23 | 03/06/23 |
| Sustrato orgánico | Grupos | Dosis | Porcentaje de biodegradación (%) | | | | | | | |
| Blanco | G1 | 0 | 2.42 | 5.35 | 5.84 | 8.99 | 9.64 | 11.30 | 13.16 | 13.20 |
| | G2 | 0 | 3.07 | 7.85 | 9.60 | 14.93 | 15.31 | 17.15 | 18.48 | 19.03 |
| | G3 | 0 | 6.05 | 11.10 | 15.24 | 17.85 | 21.43 | 23.18 | 24.95 | 25.50 |
| Cáscara de papas | G4 | 25% | 2.91 | 4.32 | 5.18 | 6.95 | 10.00 | 11.32 | 12.40 | 13.27 |
| | G5 | 50% | 5.44 | 16.55 | 20.52 | 25.39 | 29.33 | 30.41 | 35.07 | 36.03 |
| | G6 | 75% | 4.75 | 14.84 | 20.69 | 33.46 | 41.99 | 46.24 | 46.71 | 48.23 |
| Hojarasca | G7 | 75% | 9.74 | 20.84 | 24.05 | 31.83 | 42.94 | 45.91 | 51.00 | 53.19 |
| | G8 | 50% | 9.74 | 17.91 | 22.76 | 28.78 | 33.31 | 35.45 | 38.88 | 40.61 |
| | G9 | 25% | 2.18 | 5.24 | 8.30 | 10.97 | 13.47 | 18.87 | 20.94 | 20.66 |
| Salvado de trigo | G10 | 25% | 6.08 | 13.06 | 17.07 | 19.77 | 23.73 | 25.52 | 26.30 | 26.55 |
| | G11 | 50% | 7.89 | 10.31 | 11.66 | 21.40 | 25.20 | 25.37 | 26.49 | 26.99 |
| | G12 | 75% | 9.25 | 16.88 | 19.62 | 26.01 | 33.44 | 36.50 | 43.57 | 44.56 |

Como se muestra en la Tabla 7, el número de larvas se vio afectada en los doce grupos del experimento, disminuyendo con el pasar de los días, notándose que la mayor variación fue de 60 individuos y se presentó en el grupo G1, tal como se observa en la Figura 8. Asimismo, se puede notar que las variaciones de masa de los grupos con sustratos orgánicos, a diferencia de los grupos en blanco, presentan una variación más notoria.

Figura 8

Variación del número de larvas de Tenebrio molitor

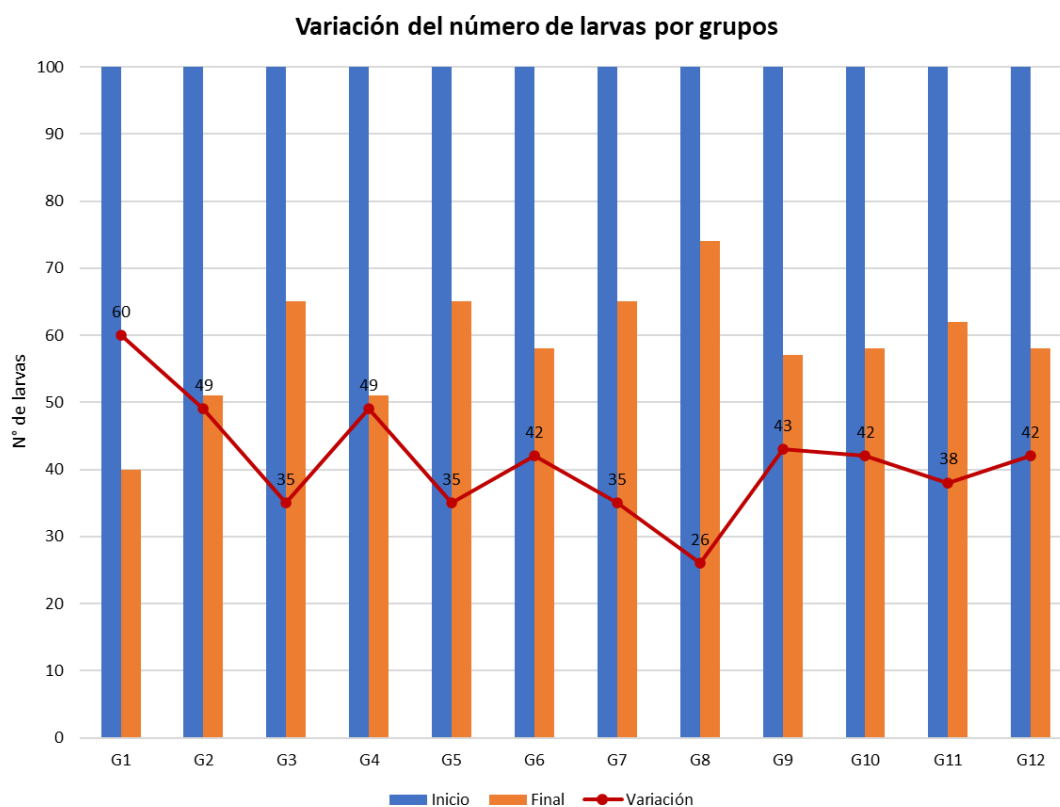


Tabla 7*Número de las larvas de Tenebrio molitor*

| | | | Día 0 | Día 1 | Día 2 | Día 3 | Día 4 | Día 5 | Día 6 | Día 7 | Día 8 | Variación |
|-------------------|--------|-------|------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|
| | | | 03/05/23 | 06/05/23 | 10/05/23 | 13/05/23 | 18/05/23 | 20/05/23 | 24/05/23 | 31/05/23 | 03/06/23 | |
| Sustrato orgánico | Grupos | Dosis | Número de larvas | | | | | | | | | |
| Blanco | G1 | 0 | 100 | 100 | 96 | 91 | 77 | 73 | 67 | 46 | 40 | 60 |
| | G2 | 0 | 100 | 100 | 91 | 87 | 71 | 67 | 63 | 51 | 51 | 49 |
| | G3 | 0 | 100 | 100 | 96 | 94 | 92 | 92 | 84 | 71 | 65 | 35 |
| Cáscara de papas | G4 | 25% | 100 | 100 | 97 | 90 | 90 | 81 | 73 | 60 | 51 | 49 |
| | G5 | 50% | 100 | 100 | 96 | 92 | 81 | 81 | 75 | 66 | 65 | 35 |
| | G6 | 75% | 100 | 100 | 97 | 91 | 84 | 81 | 75 | 66 | 58 | 42 |
| Hojasasca | G7 | 75% | 100 | 100 | 100 | 98 | 95 | 85 | 78 | 69 | 65 | 35 |
| | G8 | 50% | 100 | 100 | 99 | 99 | 95 | 91 | 81 | 76 | 74 | 26 |
| | G9 | 25% | 100 | 100 | 91 | 90 | 88 | 84 | 73 | 64 | 57 | 43 |
| Salvado de trigo | G10 | 25% | 100 | 100 | 90 | 88 | 83 | 82 | 68 | 62 | 58 | 42 |
| | G11 | 50% | 100 | 100 | 97 | 95 | 93 | 87 | 76 | 68 | 62 | 38 |
| | G12 | 75% | 100 | 100 | 96 | 93 | 90 | 90 | 74 | 62 | 58 | 42 |

Como se muestra en la Tabla 8, la masa de larvas se vio afectada en los doce grupos del experimento, disminuyendo con el pasar de los días, notándose que la mayor variación fue de 2.66 g y se presentó en el grupo G9, tal como se observa en la Figura 9. Asimismo, se puede notar que las variaciones de masa de los grupos con sustratos orgánicos, a diferencia de los grupos en blanco, presentan una variación más notoria.

Figura 9

Variación de la masa de larvas de Tenebrio molitor

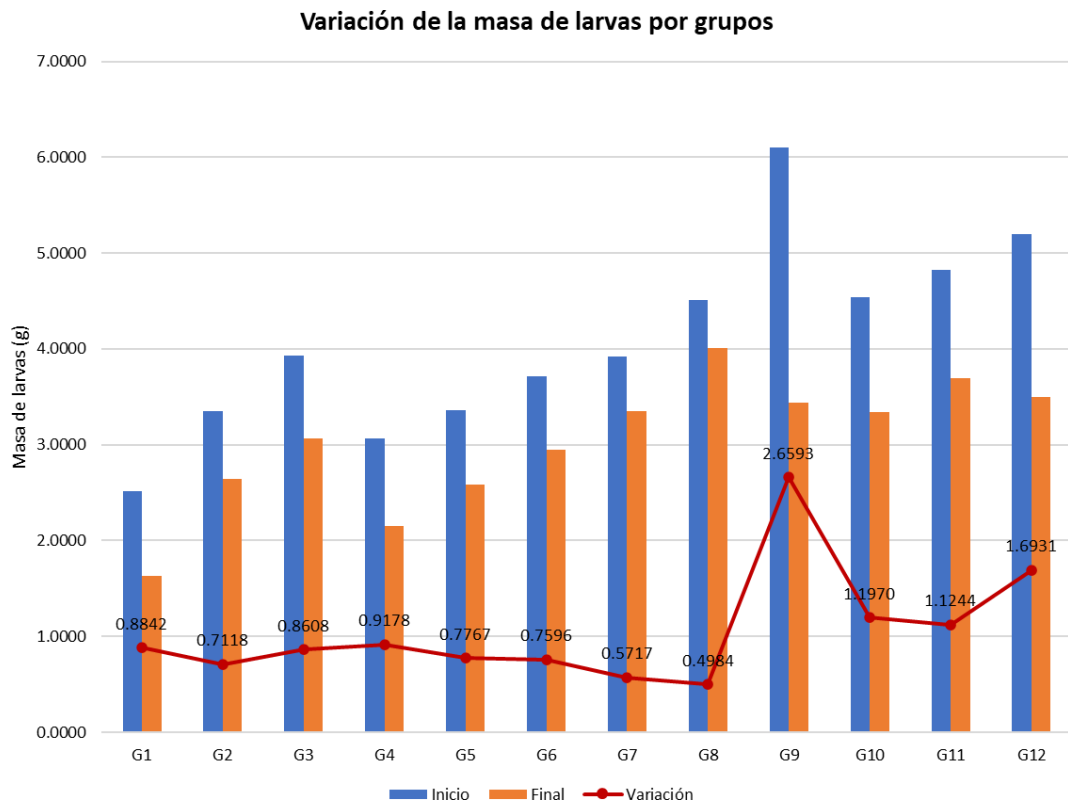


Tabla 8*Masa de las larvas de Tenebrio molitor*

| | | | Día 0 | Día 1 | Día 2 | Día 3 | Día 4 | Día 5 | Día 6 | Día 7 | Día 8 | Variación |
|-------------------|--------|-------|--------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|---------------|
| | | | 03/05/23 | 06/05/23 | 10/05/23 | 13/05/23 | 18/05/23 | 20/05/23 | 24/05/23 | 31/05/23 | 03/06/23 | |
| Sustrato orgánico | Grupos | Dosis | Masa de larvas (g) | | | | | | | | | |
| Blanco | G1 | 0 | 2.5143 | 2.3943 | 2.2758 | 2.2167 | 2.0768 | 2.0126 | 1.9408 | 1.6931 | 1.6301 | 0.8842 |
| | G2 | 0 | 3.3538 | 3.2238 | 3.0953 | 3.0440 | 2.9452 | 2.8774 | 2.7124 | 2.6769 | 2.6420 | 0.7118 |
| | G3 | 0 | 3.9282 | 3.7674 | 3.6081 | 3.5194 | 3.4242 | 3.3602 | 3.2879 | 3.1472 | 3.0674 | 0.8608 |
| Cáscara de papas | G4 | 25% | 3.0674 | 2.9102 | 2.7545 | 2.7088 | 2.6254 | 2.4509 | 2.3854 | 2.1899 | 2.1496 | 0.9178 |
| | G5 | 50% | 3.3617 | 3.2360 | 3.1118 | 3.0683 | 2.9797 | 2.9034 | 2.7708 | 2.6765 | 2.5850 | 0.7767 |
| | G6 | 75% | 3.7109 | 3.5690 | 3.4286 | 3.4038 | 3.2885 | 3.1787 | 3.1387 | 3.0248 | 2.9513 | 0.7596 |
| Hojarasca | G7 | 75% | 3.9208 | 3.7706 | 3.6219 | 3.7418 | 3.5523 | 3.5652 | 3.4739 | 3.3472 | 3.3491 | 0.5717 |
| | G8 | 50% | 4.5079 | 4.3434 | 4.1804 | 4.2215 | 4.1811 | 4.1828 | 4.1002 | 4.0209 | 4.0095 | 0.4984 |
| | G9 | 25% | 6.0977 | 5.7368 | 5.3774 | 5.2106 | 5.0807 | 4.7355 | 4.4955 | 3.9884 | 3.4384 | 2.6593 |
| Salvado de trigo | G10 | 25% | 4.5366 | 4.3231 | 4.1111 | 4.0468 | 3.8073 | 3.6495 | 3.5618 | 3.4121 | 3.3396 | 1.1970 |
| | G11 | 50% | 4.8212 | 4.5802 | 4.3407 | 4.2864 | 4.2109 | 4.0751 | 3.8895 | 3.7665 | 3.6968 | 1.1244 |
| | G12 | 75% | 5.1953 | 4.6886 | 4.1833 | 4.1357 | 3.8693 | 3.8459 | 3.6577 | 3.5725 | 3.5022 | 1.6931 |

Como se muestra en la Tabla 9, la longitud de larvas se vio afectada en los doce grupos del experimento, disminuyendo con el pasar de los días, notándose que las variaciones fueron en promedio de 0.91 mm, tal como se observa en la Figura 10. Asimismo, se puede notar que las variaciones de masa de los grupos con sustratos orgánicos, a diferencia de los grupos en blanco, presentan una variación más notoria.

Figura 10

Variación de la longitud de larvas de Tenebrio molitor

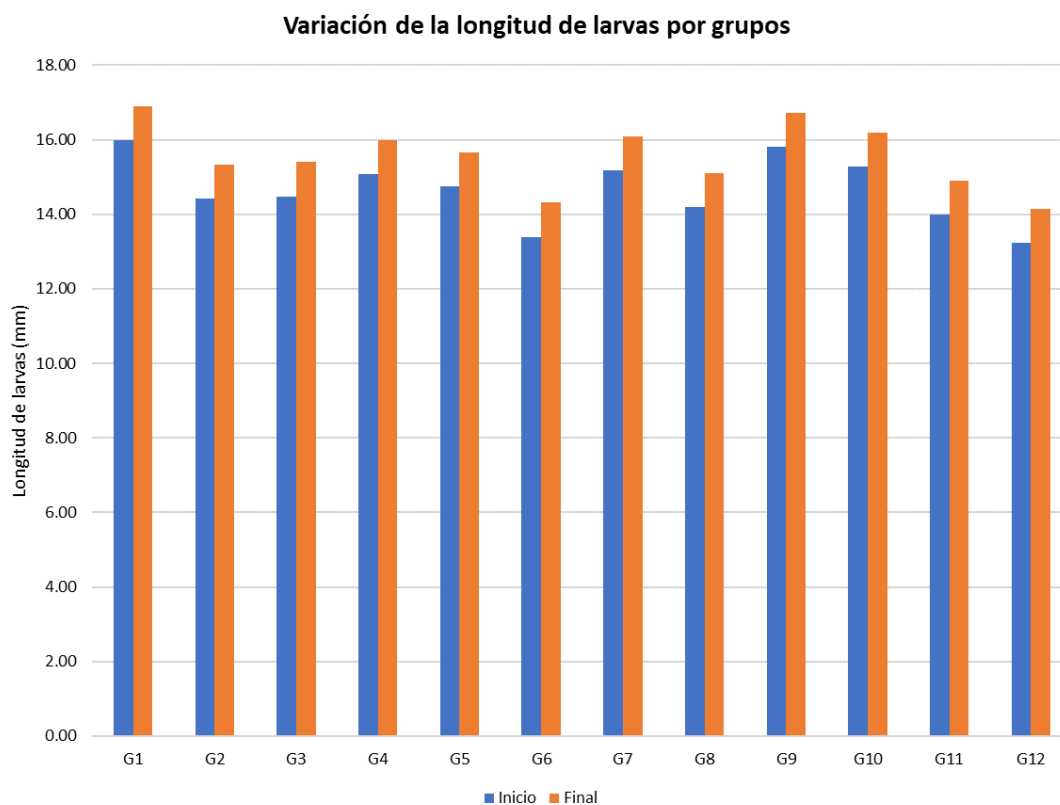


Tabla 9

Longitud de las larvas de Tenebrio molitor

| | | | Día 0 | Día 1 | Día 2 | Día 3 | Día 4 | Día 5 | Día 6 | Día 7 | Día 8 | Variación |
|-------------------|--------|-------|-------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-------------|
| | | | 03/05/23 | 06/05/23 | 10/05/23 | 13/05/23 | 18/05/23 | 20/05/23 | 24/05/23 | 31/05/23 | 03/06/23 | |
| Sustrato orgánico | Grupos | Dosis | Longitud de larvas (mm) | | | | | | | | | |
| Blanco | G1 | 0 | 15.98 | 16.07 | 16.17 | 16.30 | 16.42 | 16.53 | 16.65 | 16.79 | 16.90 | 0.92 |
| | G2 | 0 | 14.42 | 14.51 | 14.61 | 14.74 | 14.86 | 14.97 | 15.09 | 15.23 | 15.34 | 0.91 |
| | G3 | 0 | 14.48 | 14.57 | 14.67 | 14.80 | 14.92 | 15.03 | 15.15 | 15.29 | 15.40 | 0.91 |
| Cáscara de papas | G4 | 25% | 15.09 | 15.18 | 15.28 | 15.41 | 15.53 | 15.64 | 15.76 | 15.89 | 16.00 | 0.91 |
| | G5 | 50% | 14.75 | 14.84 | 14.94 | 15.07 | 15.19 | 15.30 | 15.42 | 15.56 | 15.67 | 0.91 |
| | G6 | 75% | 13.40 | 13.49 | 13.59 | 13.72 | 13.84 | 13.95 | 14.07 | 14.20 | 14.31 | 0.91 |
| Hojarasca | G7 | 75% | 15.19 | 15.28 | 15.38 | 15.51 | 15.63 | 15.74 | 15.86 | 15.99 | 16.10 | 0.91 |
| | G8 | 50% | 14.19 | 14.28 | 14.38 | 14.51 | 14.63 | 14.74 | 14.86 | 14.99 | 15.10 | 0.91 |
| | G9 | 25% | 15.81 | 15.90 | 16.00 | 16.13 | 16.25 | 16.36 | 16.48 | 16.62 | 16.73 | 0.92 |
| Salvado de trigo | G10 | 25% | 15.27 | 15.36 | 15.46 | 15.59 | 15.71 | 15.82 | 15.94 | 16.08 | 16.19 | 0.91 |
| | G11 | 50% | 13.99 | 14.08 | 14.18 | 14.31 | 14.43 | 14.54 | 14.66 | 14.80 | 14.91 | 0.91 |
| | G12 | 75% | 13.24 | 13.33 | 13.43 | 13.56 | 13.68 | 13.79 | 13.91 | 14.05 | 14.16 | 0.91 |

En la Tabla 10, se presentan los estadísticos descriptivos, según el tipo de sustrato, de la masa de los residuos de EPS biodegradada, del porcentaje de biodegradación, del número de larvas, de la masa de larvas y la longitud de las larvas, obtenidos mediante el programa Jamovi.

Tabla 10

Estadísticos descriptivos – Según tipo de sustrato

| | Sustrato | Media | DE | Varianza | Mín. | Máx. | Shapiro-Wilk | |
|-----------------|--------------------|--------|---------|----------|--------|--------|--------------|-------|
| | | | | | | | W | p |
| Masa de EPS | Blanco | 0.809 | 0.0582 | 0.0034 | 0.749 | 0.865 | 0.995 | 0.868 |
| | Cáscara de papas | 0.372 | 0.2650 | 0.0702 | 0.133 | 0.657 | 0.977 | 0.712 |
| | Hojarasca | 0.340 | 0.2425 | 0.0588 | 0.120 | 0.600 | 0.981 | 0.735 |
| | Salvado | 0.356 | 0.2092 | 0.0438 | 0.140 | 0.557 | 0.996 | 0.880 |
| biodegrad. % de | de trigo Blanco | 19.243 | 6.1539 | 37.8708 | 13.198 | 25.500 | 0.999 | 0.943 |
| | Cáscara | 32.509 | 17.7422 | 314.7874 | 13.271 | 48.228 | 0.970 | 0.670 |
| | de papas Hojarasca | 38.154 | 16.4004 | 268.9729 | 20.664 | 53.187 | 0.983 | 0.752 |
| | Salvado | 32.698 | 10.2742 | 105.5593 | 26.549 | 44.559 | 0.768 | 0.041 |
| larvas N° de | Blanco de trigo | 52.000 | 12.5300 | 157.0000 | 40 | 65 | 0.995 | 0.868 |
| | Cáscara | 58.000 | 7.0000 | 49.0000 | 51 | 65 | 1.000 | 1.000 |
| | Hojarasca de papas | 65.333 | 8.5049 | 72.3333 | 57 | 74 | 0.999 | 0.935 |
| | Salvado | 59.333 | 2.3094 | 5.3333 | 58 | 62 | 0.750 | <.001 |
| larvas | Blanco | 2.447 | 0.7383 | 0.5451 | 1.630 | 3.067 | 0.947 | 0.558 |
| | Cáscara | 2.562 | 0.4013 | 0.1611 | 2.150 | 2.951 | 0.998 | 0.905 |
| Masa de | Hojarasca | 3.599 | 0.3583 | 0.1284 | 3.349 | 4.010 | 0.849 | 0.239 |
| | Salvado de papas | 3.513 | 0.1788 | 0.0320 | 3.340 | 3.697 | 0.997 | 0.901 |
| de larvas | Blanco | 15.875 | 0.8839 | 0.78120 | 15.335 | 16.895 | 0.779 | 0.065 |
| | Cáscara | 15.325 | 0.8948 | 0.8007 | 14.310 | 16.000 | 0.892 | 0.360 |
| | de trigo Hojarasca | 15.975 | 0.8197 | 0.6719 | 15.100 | 16.725 | 0.983 | 0.747 |
| | Salvado | 15.082 | 1.0265 | 1.0536 | 14.155 | 16.185 | 0.978 | 0.714 |
| Longitud | de papas | | | | | | | |

de trigo

En la Tabla 11, se presentan los estadísticos descriptivos, según la dosis de sustrato, de la masa de los residuos de EPS biodegradada, del porcentaje de biodegradación, del número de larvas, de la masa de larvas y la longitud de las larvas, obtenidos mediante el programa Jamovi.

Tabla 11

Estadísticos descriptivos – Según dosis de sustrato

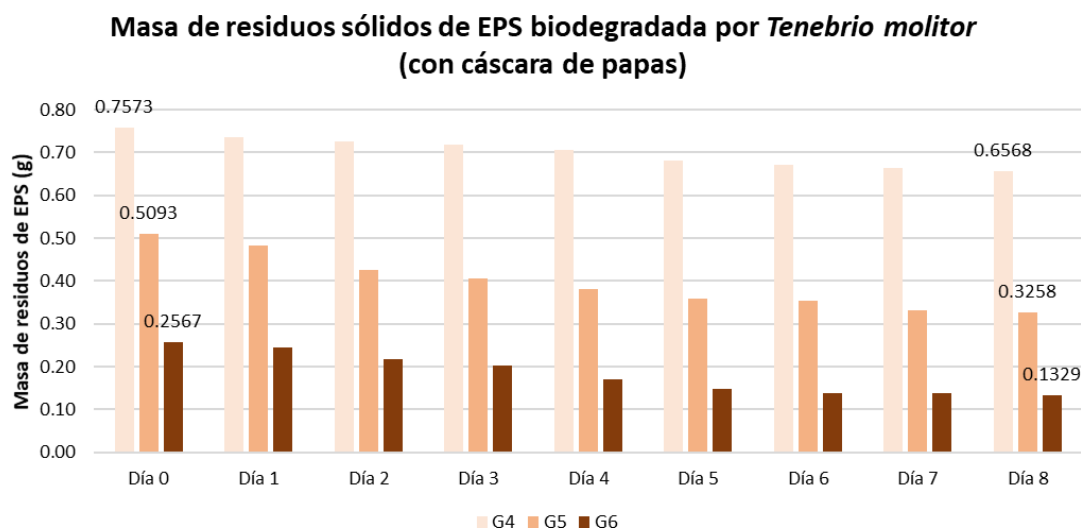
| | Dosis | Media | DE | Varianza | Mínimo | Máximo | Shapiro-Wilk | |
|--------------------|-------|--------|---------|-----------|--------|--------|--------------|--------|
| | | | | | | | W | p |
| Masa de EPS | 0.00 | 0.809 | 0.0582 | 0.00339 | 0.749 | 0.865 | 0.995 | 0.868 |
| | 0.25 | 0.605 | 0.0500 | 0.00250 | 0.557 | 0.657 | 0.994 | 0.848 |
| | 0.50 | 0.333 | 0.0353 | 0.00125 | 0.302 | 0.371 | 0.970 | 0.666 |
| | 0.75 | 0.131 | 0.0101 | 1.03e-4 | 0.120 | 0.140 | 0.966 | 0.644 |
| % de biodeg. | 0.00 | 19.243 | 6.1539 | 37.87075 | 13.198 | 25.500 | 0.999 | 0.943 |
| | 0.25 | 20.161 | 6.6533 | 44.26623 | 13.271 | 26.549 | 0.996 | 0.875 |
| | 0.50 | 34.542 | 6.9326 | 48.06043 | 26.987 | 40.610 | 0.965 | 0.643 |
| | 0.75 | 48.658 | 4.3302 | 18.75026 | 44.559 | 53.187 | 0.993 | 0.835 |
| N° de larvas | 0.00 | 52.000 | 12.5300 | 157.00000 | 40 | 65 | 0.995 | 0.868 |
| | 0.25 | 55.333 | 3.7859 | 14.33333 | 51 | 58 | 0.855 | 0.253 |
| | 0.50 | 67.000 | 6.2450 | 39.00000 | 62 | 74 | 0.923 | 0.463 |
| | 0.75 | 60.333 | 4.0415 | 16.33333 | 58 | 65 | 0.750 | < .001 |
| Masa de larvas | 0.00 | 2.447 | 0.7383 | 0.54512 | 1.630 | 3.067 | 0.947 | 0.558 |
| | 0.25 | 2.976 | 0.7173 | 0.51448 | 2.150 | 3.438 | 0.807 | 0.132 |
| | 0.50 | 3.430 | 0.7487 | 0.56051 | 2.585 | 4.010 | 0.905 | 0.402 |
| | 0.75 | 3.268 | 0.2844 | 0.08086 | 2.951 | 3.502 | 0.938 | 0.521 |
| Longitud de larvas | 0.00 | 15.875 | 0.8839 | 0.78120 | 15.335 | 16.895 | 0.779 | 0.065 |
| | 0.25 | 16.303 | 0.3767 | 0.14191 | 16.000 | 16.725 | 0.926 | 0.474 |
| | 0.50 | 15.223 | 0.3947 | 0.15581 | 14.905 | 15.665 | 0.927 | 0.477 |
| | 0.75 | 14.855 | 1.0810 | 1.16852 | 14.155 | 16.100 | 0.809 | 0.137 |

5.1.2. Eficiencia de las larvas de *Tenebrio molitor* con sustratos orgánicos en la biodegradación de residuos de EPS para identificar al sustrato óptimo

Como se observa en la Tabla 12, la masa de los residuos sólidos de EPS fue biodegradada por las larvas de *Tenebrio molitor* con sustratos orgánicos, evidenciándose que se biodegradaron entre 0.1 y 0.2 gramos aproximadamente de masa. En la Figura 11, se muestra la evolución de la masa de los residuos de EPS de los grupos G4, G5 y G6, grupos en los que se empleó cáscaras de papa como sustrato orgánico, notándose una variación de hasta 0.18 g.

Figura 11

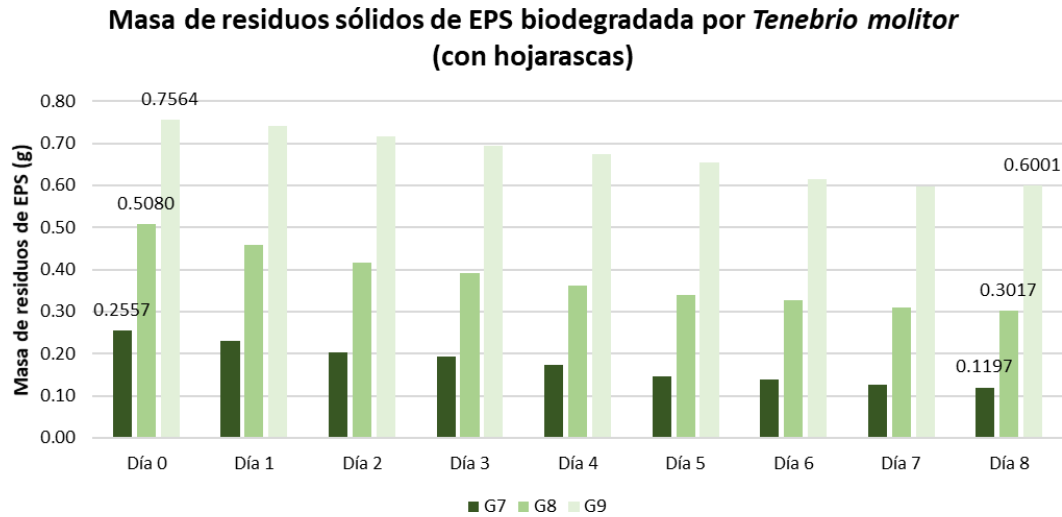
*Evolución de la masa de residuos sólidos de EPS biodegradada por las larvas de *Tenebrio molitor* con sustratos orgánicos (cáscaras de papa)*



De igual manera, en la Figura 12, se observa la evolución de los grupos G7, G8 y G9, grupos en los que se utilizó hojarasca (hojas secas) como sustrato orgánico, presentándose una variación de hasta 0.2 g.

Figura 12

Evolución de la masa de residuos sólidos de EPS biodegradada por las larvas de Tenebrio molitor con sustratos orgánicos (hojarasca)



Asimismo, en la Figura 13, se muestra la evolución de los grupos G10, G11 y G12, grupos en los que se empleó salvado de trigo como sustrato orgánico, evidenciándose una variación de hasta 0.2 g.

Figura 13

Evolución de la masa de residuos sólidos de EPS biodegradada por las larvas de Tenebrio molitor con sustratos orgánicos (salvado de trigo)

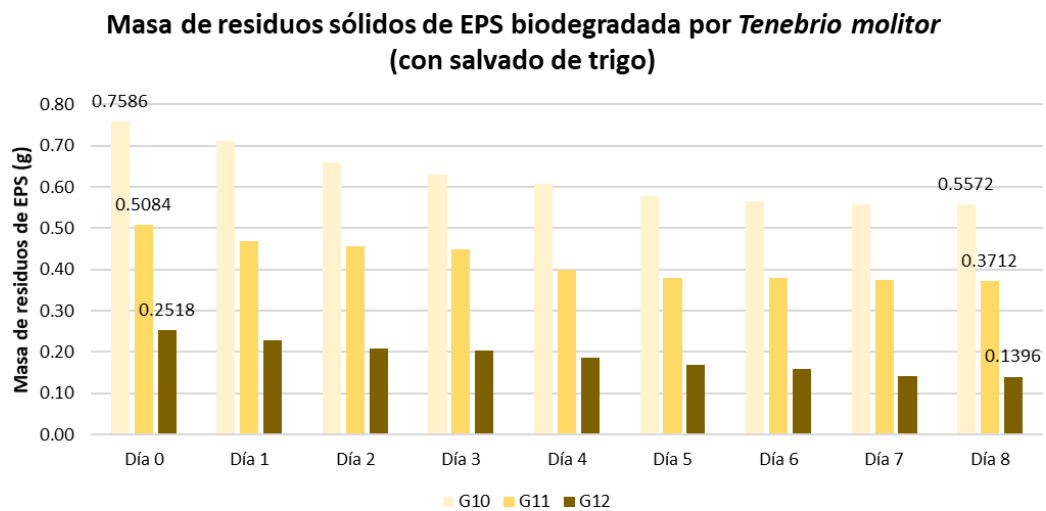


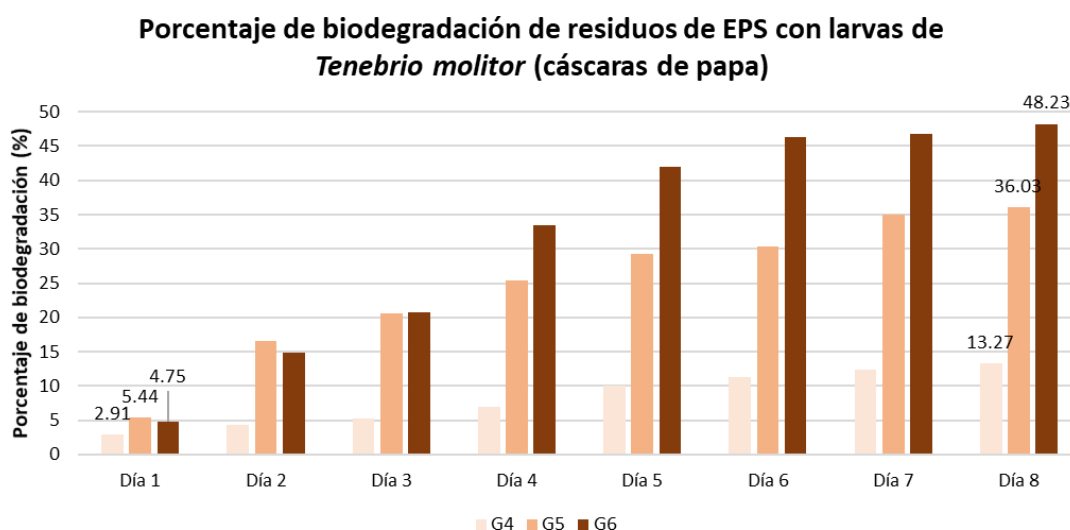
Tabla 12*Masa de residuos de EPS biodegradada mediante las larvas de Tenebrio molitor, con sustratos orgánicos*

| Sustrato orgánico | Grupos | Dosis | Día 0 | Día 1 | Día 2 | Día 3 | Día 4 | Día 5 | Día 6 | Día 7 | Día 8 |
|-------------------|--------|-------|------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | | | 03/05/23 | 06/05/23 | 10/05/23 | 13/05/23 | 18/05/23 | 20/05/23 | 24/05/23 | 31/05/23 | 03/06/23 |
| | | | Masa de EPS (g) | | | | | | | | |
| Cáscara de papas | G4 | 25% | 0.7573 | 0.7353 | 0.7246 | 0.7181 | 0.7047 | 0.6816 | 0.6716 | 0.6634 | 0.6568 |
| | G5 | 50% | 0.5093 | 0.4816 | 0.4250 | 0.4048 | 0.3800 | 0.3599 | 0.3544 | 0.3307 | 0.3258 |
| | G6 | 75% | 0.2567 | 0.2445 | 0.2186 | 0.2036 | 0.1708 | 0.1489 | 0.1380 | 0.1368 | 0.1329 |
| Hojarasca | G7 | 75% | 0.2557 | 0.2308 | 0.2024 | 0.1942 | 0.1743 | 0.1459 | 0.1383 | 0.1253 | 0.1197 |
| | G8 | 50% | 0.5080 | 0.4585 | 0.4170 | 0.3924 | 0.3618 | 0.3388 | 0.3279 | 0.3105 | 0.3017 |
| | G9 | 25% | 0.7564 | 0.7399 | 0.7168 | 0.6936 | 0.6734 | 0.6545 | 0.6137 | 0.5980 | 0.6001 |
| Salvado de trigo | G10 | 25% | 0.7586 | 0.7125 | 0.6595 | 0.6291 | 0.6086 | 0.5786 | 0.5650 | 0.5591 | 0.5572 |
| | G11 | 50% | 0.5084 | 0.4683 | 0.4560 | 0.4491 | 0.3996 | 0.3803 | 0.3794 | 0.3737 | 0.3712 |
| | G12 | 75% | 0.2518 | 0.2285 | 0.2093 | 0.2024 | 0.1863 | 0.1676 | 0.1599 | 0.1421 | 0.1396 |

En el caso del porcentaje de biodegradación de los residuos de EPS con larvas de *Tenebrio molitor* y sustratos orgánicos, tal como se muestra en la Tabla 13, conforme avanzaban los días, aumentaba el porcentaje de biodegradación. En la Figura 14, se observa que la mayor biodegradación se presentó en el grupo G6 (grupo con dosis de 75% de cáscaras de papa) y fue de 48.23%.

Figura 14

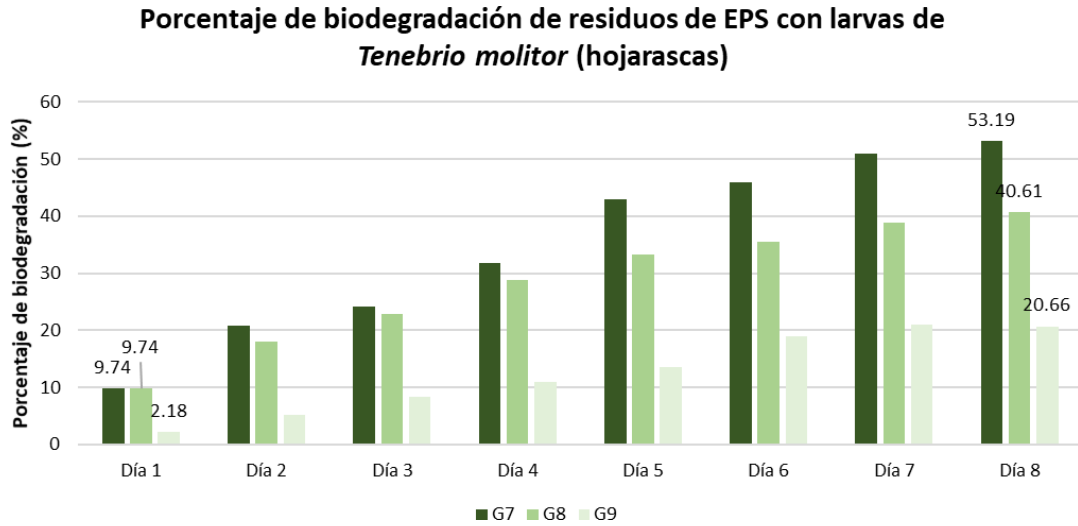
Porcentaje de biodegradación de residuos de EPS por las larvas de Tenebrio molitor con sustratos orgánicos (cáscaras de papa)



Por otro lado, en la Figura 15, se muestra que el grupo G7 (grupo con dosis de 75% de hojarasca) presentó el mayor porcentaje de biodegradación siendo este 53.19%.

Figura 15

Porcentaje de biodegradación de residuos de EPS por las larvas de Tenebrio molitor, con sustratos orgánicos (hojarasca)



En la Figura 16, se evidencia que la mayor biodegradación fue realizada por el grupo G12 (grupo con dosis de 75% de salvado de trigo).

Figura 16

Porcentaje de biodegradación de residuos de EPS por las larvas de Tenebrio molitor, con sustratos orgánicos (salvado de trigo)

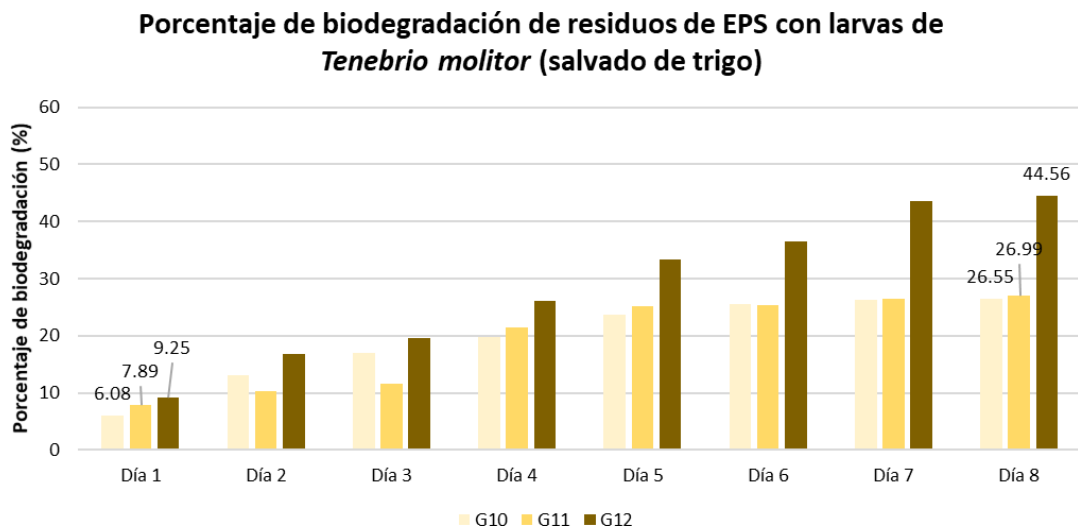


Tabla 13*Porcentaje de biodegradación de residuos de EPS mediante las larvas de Tenebrio molitor con sustratos orgánicos*

| | | | Día 1 | Día 2 | Día 3 | Día 4 | Día 5 | Día 6 | Día 7 | Día 8 |
|-------------------|--------|-------|----------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | | | 06/05/23 | 10/05/23 | 13/05/23 | 18/05/23 | 20/05/23 | 24/05/23 | 31/05/23 | 03/06/23 |
| Sustrato orgánico | Grupos | Dosis | Porcentaje de Biodegradación (%) | | | | | | | |
| Cáscara de papas | G4 | 25% | 2.91 | 4.32 | 5.18 | 6.95 | 10.00 | 11.32 | 12.40 | 13.27 |
| | G5 | 50% | 5.44 | 16.55 | 20.52 | 25.39 | 29.33 | 30.41 | 35.07 | 36.03 |
| | G6 | 75% | 4.75 | 14.84 | 20.69 | 33.46 | 41.99 | 46.24 | 46.71 | 48.23 |
| Hojarasca | G7 | 75% | 9.74 | 20.84 | 24.05 | 31.83 | 42.94 | 45.91 | 51.00 | 53.19 |
| | G8 | 50% | 9.74 | 17.91 | 22.76 | 28.78 | 33.31 | 35.45 | 38.88 | 40.61 |
| | G9 | 25% | 2.18 | 5.24 | 8.30 | 10.97 | 13.47 | 18.87 | 20.94 | 20.66 |
| Salvado de trigo | G10 | 25% | 6.08 | 13.06 | 17.07 | 19.77 | 23.73 | 25.52 | 26.30 | 26.55 |
| | G11 | 50% | 7.89 | 10.31 | 11.66 | 21.40 | 25.20 | 25.37 | 26.49 | 26.99 |
| | G12 | 75% | 9.25 | 16.88 | 19.62 | 26.01 | 33.44 | 36.50 | 43.57 | 44.56 |

En la Tabla 14, se presentan los estadísticos descriptivos se presentan los estadísticos descriptivos de la masa de los residuos de EPS biodegradada, del porcentaje de biodegradación, del número de larvas, de la masa de larvas y la longitud de las larvas, según el tipo de sustrato, obtenidos mediante el programa Jamovi.

Tabla 14

Estadísticos descriptivos, según el tipo de sustrato

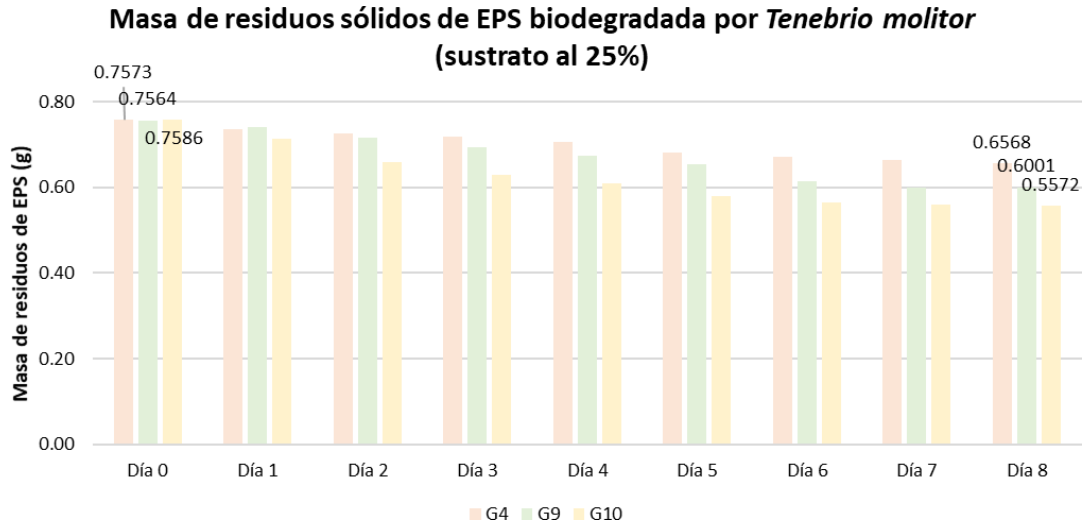
| | Sustrato | Media | DE | Varianza | Mínimo | Máximo | Shapiro-Wilk | |
|-----------------|------------------|--------|---------|----------|--------|--------|--------------|-------|
| | | | | | | | W | p |
| Masa de EPS | Cáscara de papas | 0.372 | 0.2650 | 0.0702 | 0.133 | 0.657 | 0.977 | 0.712 |
| | Hojarasca | 0.340 | 0.2425 | 0.0588 | 0.120 | 0.600 | 0.981 | 0.735 |
| | Salvado de trigo | 0.356 | 0.2092 | 0.0438 | 0.140 | 0.557 | 0.996 | 0.880 |
| % de biodegrad. | Cáscara de papas | 32.509 | 17.7422 | 314.7874 | 13.271 | 48.228 | 0.970 | 0.670 |
| | Hojarasca | 38.154 | 16.4004 | 268.9729 | 20.664 | 53.187 | 0.983 | 0.752 |
| | Salvado de trigo | 32.698 | 10.2742 | 105.5593 | 26.549 | 44.559 | 0.768 | 0.041 |

5.1.3. *Eficiencia de las larvas de Tenebrio molitor con sustratos orgánicos en la biodegradación de residuos de EPS para identificar la dosis óptima*

Como se observa en la Tabla 12, la masa de los residuos sólidos de EPS fue biodegradada por las larvas de Tenebrio molitor con sustratos orgánicos, evidenciándose que se biodegradaron entre 0.1 y 0.2 gramos aproximadamente de masa. En la Figura 17, se muestra la evolución de la masa de los residuos de EPS de los grupos G4, G9 y G10, grupos en los que se añadieron dosis de 25% de sustratos orgánicos, notándose que la mayor variación se presentó en el grupo G9 (25% de hojarasca) y fue de 0.156 g.

Figura 17

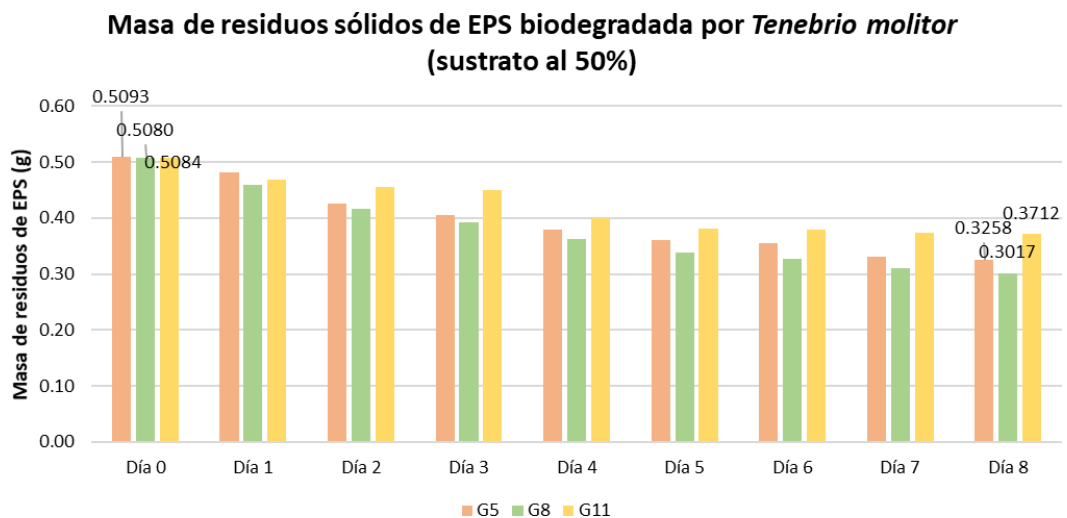
Evolución de la masa de residuos sólidos de EPS biodegradada por las larvas de Tenebrio molitor con sustratos orgánicos (sustratos al 25%)



De igual manera, en la Figura 18, se observa la evolución de los grupos G5, G8 y G11, grupos en los que se añadieron dosis de 50% de sustratos orgánicos, notándose que la mayor variación se presentó en el grupo G8 (50% de hojarascas) y fue de 0.206 g.

Figura 18

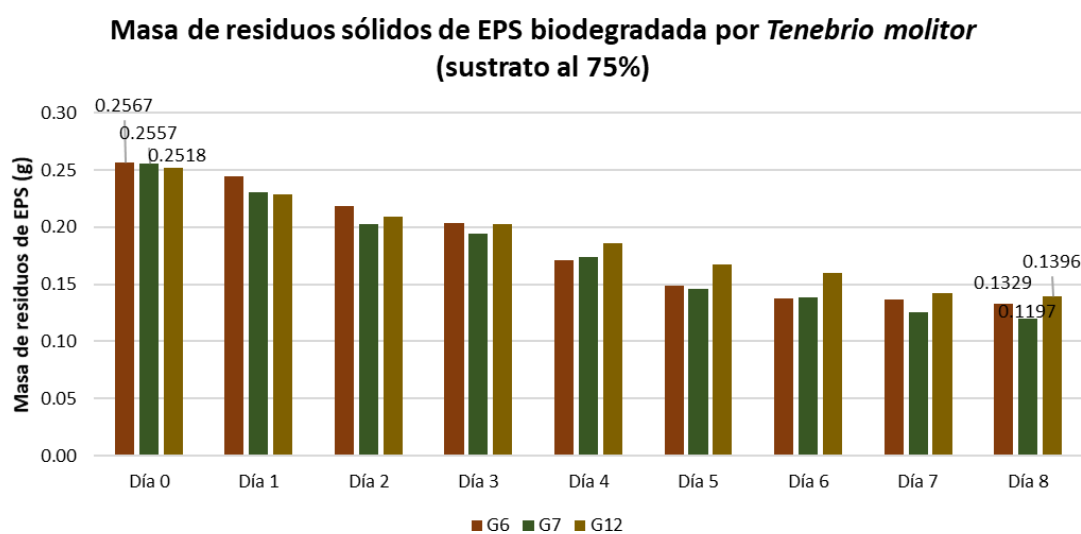
Evolución de la masa de residuos sólidos de EPS biodegradada por las larvas de Tenebrio molitor con sustratos orgánicos (sustratos al 50%)



Asimismo, en la Figura 19, se muestra la evolución de los grupos G6, G7 y G12, grupos en los que se añadieron dosis de 75% de sustratos orgánicos, notándose que la mayor variación se presentó en el grupo G7 (75% de hojarascas) y fue de 0.136 g.

Figura 19

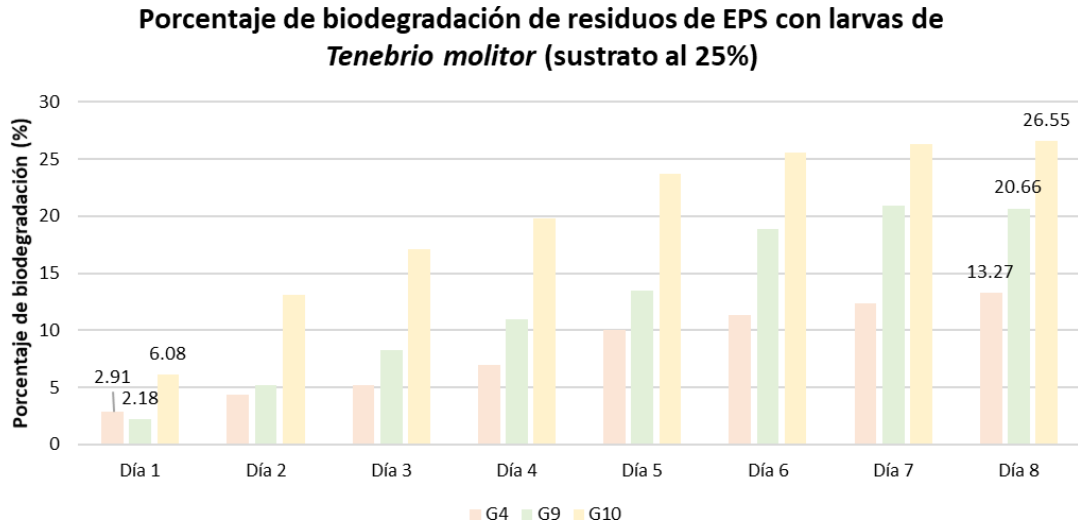
Evolución de la masa de residuos sólidos de EPS biodegradada por las larvas de Tenebrio molitor con sustratos orgánicos (sustratos al 75%)



En el caso del porcentaje de biodegradación de los residuos de EPS con larvas de *Tenebrio molitor* y sustratos orgánicos, tal como se muestra en la Tabla 13, conforme avanzaban los días, aumentaba el porcentaje de biodegradación. En la Figura 20, se muestra la evolución del porcentaje de biodegradación de los residuos de EPS de los grupos G4, G9 y G10, grupos en los que se añadieron dosis de 25% de sustratos orgánicos, notándose que el mayor porcentaje se presentó en el grupo G10 (25% de salvado de trigo) y fue de 26.55%.

Figura 20

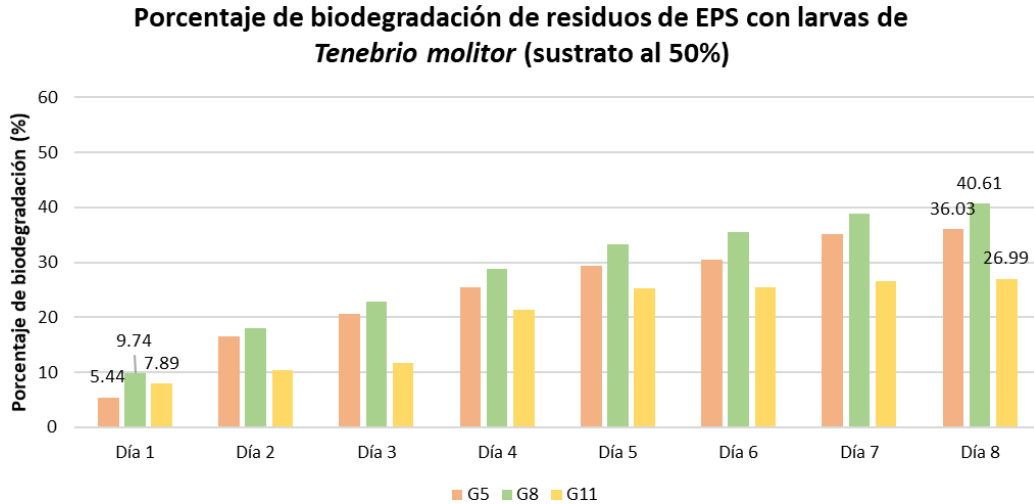
Porcentaje de biodegradación de residuos de EPS por las larvas de Tenebrio molitor con sustratos orgánicos (sustratos al 25%)



Por otro lado, en la Figura 21, se muestra la evolución del porcentaje de biodegradación de los residuos de EPS de los grupos G5, G8 y G11, grupos en los que se añadieron dosis de 50% de sustratos orgánicos, notándose que el mayor porcentaje se presentó en el grupo G8 (50% de hojarascas) y fue de 40.61%.

Figura 21

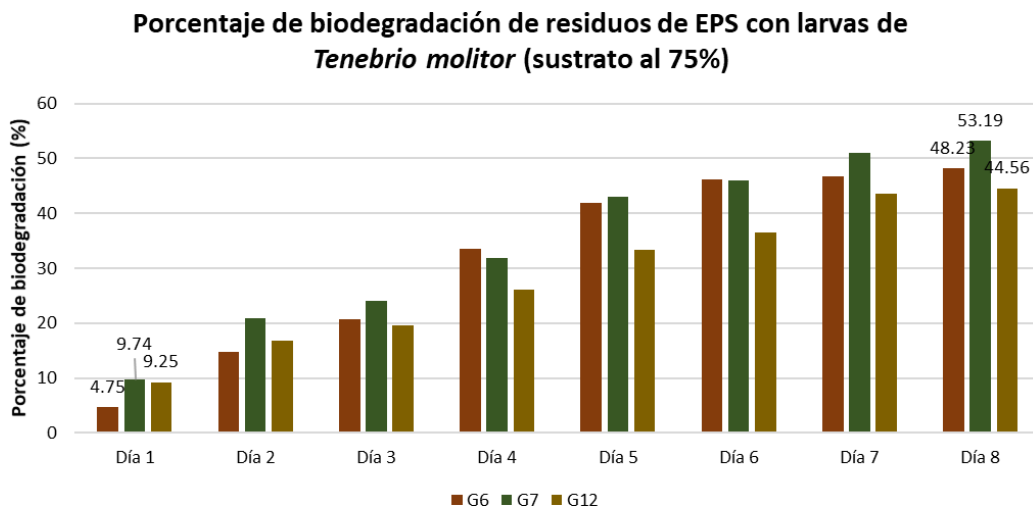
Porcentaje de biodegradación de residuos de EPS por las larvas de Tenebrio molitor con sustratos orgánicos (sustratos al 50%)



En la Figura 22, se muestra la evolución del porcentaje de biodegradación de los residuos de EPS de los grupos G6, G7 y G12, grupos en los que se añadieron dosis de 75% de sustratos orgánicos, notándose que el mayor porcentaje se presentó en el grupo G7 (75% de hojarascas) y fue de 26.55%.

Figura 22

Porcentaje de biodegradación de residuos de EPS por las larvas de Tenebrio molitor con sustratos orgánicos (sustratos al 75%)



En la Tabla 15, se presentan los estadísticos descriptivos se presentan los estadísticos descriptivos de la masa de los residuos de EPS biodegradada, del porcentaje de biodegradación, del número de larvas, de la masa de larvas y la longitud de las larvas, según la dosis de sustrato, obtenidos mediante el programa Jamovi.

Tabla 15

Estadísticos descriptivos, según la dosis del sustrato

| | Dosis | Media | DE | Varianza | Mínimo | Máximo | Shapiro-Wilk | |
|---------------------|-------|--------|--------|----------|--------|--------|--------------|-------|
| | | | | | | | W | p |
| Masa de EPS | 0.25 | 0.605 | 0.0500 | 0.0025 | 0.557 | 0.657 | 0.994 | 0.848 |
| | 0.50 | 0.333 | 0.0353 | 0.0013 | 0.302 | 0.371 | 0.970 | 0.666 |
| | 0.75 | 0.131 | 0.0101 | 1.03e-4 | 0.120 | 0.140 | 0.966 | 0.644 |
| % de biodegradación | 0.25 | 20.161 | 6.6533 | 44.2662 | 13.271 | 26.549 | 0.996 | 0.875 |
| | 0.50 | 34.542 | 6.9326 | 48.0604 | 26.987 | 40.610 | 0.965 | 0.643 |
| | 0.75 | 48.658 | 4.3302 | 18.7503 | 44.559 | 53.187 | 0.993 | 0.835 |

5.2. Resultados inferenciales

Para los resultados inferenciales, primero se corroboraron los supuestos de normalidad, de homogeneidad de varianza, de independencia y de interacción aditiva.

5.2.1. Efecto de las larvas de *Tenebrio molitor* con sustratos orgánicos en la biodegradación de residuos de EPS.

a. Supuesto de normalidad

A continuación, en la Tabla 16, se muestran los resultados de la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk, que se usa para muestras menores a 50, para

los datos de la masa de residuos de EPS biodegradados por las larvas de *Tenebrio molitor*, según el tipo de sustratos orgánicos.

Tabla 16*Prueba de Normalidad Shapiro Wilk, según el tipo de sustrato*

| | Shapiro-Wilk | |
|--------------------|--------------|-------|
| | W | p |
| Masa de EPS | 0.922 | 0.301 |
| % de biodegrad. | 0.945 | 0.560 |
| N° de larvas | 0.965 | 0.856 |
| Masa de larvas | 0.978 | 0.974 |
| Longitud de larvas | 0.919 | 0.281 |

Nota. Un valor p bajo sugiere una violación del supuesto de normalidad

Como se observa en la Tabla 16, la prueba de Shapiro-Wilk indica que se cumple este supuesto en todos los grupos ($p > 0.05$).

A continuación, en la Tabla 17, se muestran los resultados de la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk, que se usa para muestras menores a 50, para los datos de la masa de residuos de EPS biodegradados por las larvas de *Tenebrio molitor*, según la dosis de los sustratos orgánicos.

Tabla 17*Prueba de Normalidad Shapiro Wilk, según la dosis de sustrato*

| | Shapiro-Wilk | |
|--------------------|--------------|-------|
| | W | p |
| Masa de EPS | 0.954 | 0.692 |
| % de biodegrad. | 0.905 | 0.182 |
| N° de larvas | 0.971 | 0.922 |
| Masa de larvas | 0.846 | 0.033 |
| Longitud de larvas | 0.875 | 0.075 |

Nota. Un valor p bajo sugiere una violación del supuesto de normalidad

Como se observa en la Tabla 18, la prueba de Shapiro-Wilk indica que se cumple este supuesto en todos los grupos ($p > 0.05$), excepto en el grupo de Masa de larvas.

a. Supuesto de homogeneidad de varianzas

A continuación, en la Tabla 18, se muestran los resultados de la prueba de homogeneidad de varianzas de Levene, para los datos de la masa de residuos de EPS biodegradados por las larvas de *Tenebrio molitor*, según el tipo de sustratos orgánicos.

Tabla 18

Prueba de Levene, según el tipo de sustrato

| | F | gl1 | gl2 | p |
|--------------------|----------|------------|------------|----------|
| Masa de EPS | 1.2441 | 3 | 8 | 0.356 |
| % de biodegrad. | 1.1785 | 3 | 8 | 0.377 |
| Nº de larvas | 1.1660 | 3 | 8 | 0.381 |
| Masa de larvas | 2.1244 | 3 | 8 | 0.175 |
| Longitud de larvas | 0.0790 | 3 | 8 | 0.970 |

Nota. Un valor p bajo sugiere una violación del supuesto de normalidad

Como se observa en la Tabla 18, la prueba de Levene indica que se cumple este supuesto en todos los grupos ($p > 0.05$).

A continuación, en la Tabla 19, se muestran los resultados de la prueba de homogeneidad de varianzas de Levene, para los datos de la masa de residuos de EPS biodegradados por las larvas de *Tenebrio molitor*, según la dosis de sustratos orgánicos.

Tabla 19*Prueba de Levene, según la dosis de sustrato*

| | F | gl1 | gl2 | p |
|--------------------|----------|------------|------------|----------|
| Masa de EPS | 1.291 | 3 | 8 | 0.342 |
| % de biodegrad. | 0.228 | 3 | 8 | 0.874 |
| N° de larvas | 1.582 | 3 | 8 | 0.268 |
| Masa de larvas | 1.362 | 3 | 8 | 0.322 |
| Longitud de larvas | 3.378 | 3 | 8 | 0.075 |

Nota. Un valor p bajo sugiere una violación del supuesto de normalidad

Como se observa en la Tabla 19, la prueba de Levene indica que se cumple este supuesto en todos los grupos ($p > 0.05$).

b. Supuesto de independencia

Debido a que los datos de un grupo no influyen en los otros y a que cada grupo sigue condiciones específicas y no interactúa con ningún otro grupo, las muestras son independientes entre sí, cumpliéndose con el supuesto de independencia.

c. Supuesto de interacción aditiva

Puesto que los efectos individuales del tipo de sustrato y de la dosis de sustrato se suman para determinar el efecto en la biodegradación de EPS, se cumple el supuesto de interacción aditiva.

Debido a que se cumple con los cuatro supuestos en todos los casos, excepto en el caso de la masa de las larvas según la dosis de sustratos orgánicos que no cumple con la homogeneidad, se realizó el ANOVA de un factor, tal como se muestra en la Tabla 20 y la Tabla 21.

Tabla 20*ANOVA de un factor, según tipo de sustrato*

| | F | gl1 | gl2 | p |
|--------------------|------|-----|-----|-------|
| Masa de EPS | 3.51 | 3 | 8 | 0.069 |
| % de biodegrad. | 1.07 | 3 | 8 | 0.416 |
| N° de larvas | 1.27 | 3 | 8 | 0.350 |
| Masa de larvas | 5.15 | 3 | 8 | 0.028 |
| Longitud de larvas | 0.67 | 3 | 8 | 0.593 |

Nota. Un valor p bajo sugiere una violación del supuesto de normalidad

Tabla 21*ANOVA de un factor, según dosis de sustrato*

| | F | gl1 | gl2 | p |
|--------------------|--------|-----|-----|-------|
| Masa de EPS | 147.77 | 3 | 8 | <.001 |
| % de biodegrad. | 15.56 | 3 | 8 | 0.001 |
| N° de larvas | 1.32 | 3 | 8 | 0.159 |
| Longitud de larvas | 2.25 | 3 | 8 | 0.160 |

Nota. Un valor p bajo sugiere una violación del supuesto de normalidad

Dado que el factor masa de larvas no cumple con la prueba de Normalidad según el tipo de dosis, tal como se observó en la Tabla 17, se realizó la prueba ANOVA de Kruskal Wallis (No paramétrico). A continuación, en la Tabla 22, se muestra el resultado de la prueba.

Tabla 22*ANOVA de Kruskal Wallis, según dosis de sustrato*

| | X ² | gl | p |
|----------------|----------------|----|-------|
| Masa de larvas | 3.31 | 3 | 0.347 |

En la Tabla 20, se observa que solo el caso del factor Masa de larvas posee un p menor a 0.05, lo que significa que existen diferencias estadísticamente significativas, por ellos se realiza la prueba Post Hoc de Tukey.

Tabla 23*Prueba Post Hoc de Tukey – Masa de larvas, según tipo de sustrato*

| | | Blanco | Cáscara de papas | Hojarasca | Salvado de trigo |
|------------------|----------------------|--------|------------------|-----------|------------------|
| Blanco | Diferencia de medias | — | -0.115 | -1.15 | -1.0664 |
| | valor p | — | 0.990 | 0.064 | 0.087 |
| Cáscara de papas | Diferencia de medias | | — | -1.04 | -0.9509 |
| | valor p | | — | 0.098 | 0.134 |
| Hojarasca | Diferencia de medias | | | — | 0.0861 |
| | valor p | | | — | 0.996 |
| Salvado de trigo | Diferencia de medias | | | | — |
| | valor p | | | | — |

Como se observa en la Tabla 23, en ninguna combinación existe diferencias estadísticamente significativas.

Por otro lado, en la Tabla 21, se observa que los factores masa de EPS y porcentaje de biodegradación poseen un p menor a 0.05, lo que significa que

existen diferencias estadísticamente significativas, por ellos se realiza la prueba Post Hoc de Tukey.

Tabla 24

Prueba Post Hoc de Tukey – Masa de EPS, según dosis de sustrato

| | | 0.00 | 0.25 | 0.50 | 0.75 |
|------|----------------------|------|----------|-----------|-----------|
| 0.00 | Diferencia de medias | — | 0.204 ** | 0.476 *** | 0.678 *** |
| | valor p | — | 0.002 | <.001 | <.001 |
| 0.25 | Diferencia de medias | | — | 0.272 *** | 0.474 *** |
| | valor p | | — | <.001 | <.001 |
| 0.50 | Diferencia de medias | | | — | 0.202 ** |
| | valor p | | | — | 0.002 |
| 0.75 | Diferencia de medias | | | | — |
| | valor p | | | | — |

Nota. * p < .05, ** p < .01, *** p < .001

Tabla 25

Prueba Post Hoc de Tukey – Porcentaje de biodegradación, según dosis de sustrato

| | | 0.00 | 0.25 | 0.50 | 0.75 |
|------|----------------------|------|--------|-------|----------|
| 0.00 | Diferencia de medias | — | -0.918 | -15.3 | -29.4 ** |
| | valor p | — | 0.998 | 0.060 | 0.002 |
| 0.25 | Diferencia de medias | | — | -14.4 | -28.5 ** |
| | valor p | | — | 0.078 | 0.002 |
| 0.50 | Diferencia de medias | | | — | -14.1 |
| | valor p | | | — | 0.084 |
| 0.75 | Diferencia de medias | | | | — |
| | valor p | | | | — |

Nota. * p < .05, ** p < .01, *** p < .001

La Tabla 24 muestra que, en todas las combinaciones de dosis de sustratos con el factor masa de EPS, existen diferencias estadísticamente significativas entre ellas. En cambio, en la Tabla 25, se muestra que solo existen diferencias estadísticamente significativas en las combinaciones de las dosis 0.00 con 0.75 y 0.25 con 0.75 para el factor porcentaje de biodegradación.

5.2.2. *Eficiencia de las larvas de Tenebrio molitor con sustratos orgánicos en la biodegradación de residuos de EPS para identificar al sustrato óptimo*

a. **Supuesto de normalidad**

A continuación, en la Tabla 26, se muestran los resultados de la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk, usado para muestras menores a 50, para los datos de la masa de residuos de EPS biodegradados por las larvas de *Tenebrio molitor*.

Tabla 26

Prueba de Normalidad Shapiro Wilk, según el tipo de sustrato

| | Shapiro-Wilk | |
|-----------------|--------------|-------|
| | W | p |
| Masa de EPS | 0.922 | 0.301 |
| % de biodegrad. | 0.945 | 0.560 |

Nota. Un valor p bajo sugiere una violación del supuesto de normalidad

Como se observa en la Tabla 26, la prueba de Shapiro-Wilk indica que se cumple este supuesto en todos los grupos ($p > 0.05$).

b. **Supuesto de homogeneidad de varianzas**

A continuación, en la Tabla 27, se muestran los resultados de la prueba de homogeneidad de varianzas de Levene, para los datos de la masa de residuos de EPS biodegradados por las larvas de *Tenebrio molitor*.

Tabla 27

Prueba de Levene, según el tipo de sustrato

| | F | gl1 | gl2 | p |
|-----------------|------|-----|-----|-------|
| Masa de EPS | 1.24 | 3 | 8 | 0.356 |
| % de biodegrad. | 1.18 | 3 | 8 | 0.377 |

Nota. Un valor p bajo sugiere una violación del supuesto de normalidad

Como se observa en la Tabla 27, la prueba de Levene indica que se cumple este supuesto en todos los grupos ($p > 0.05$).

c. Supuesto de independencia

Debido a que los datos de un grupo no influyen en los otros y a que cada grupo sigue condiciones específicas y no interactúa con ningún otro grupo, las muestras son independientes entre sí, cumpliéndose con el supuesto de independencia.

d. Supuesto de interacción aditiva

Puesto que los efectos individuales del tipo de sustrato y de la dosis de sustrato se suman para determinar el efecto en la biodegradación de EPS, se cumple el supuesto de interacción aditiva.

Debido a que se cumplen los cuatro supuestos, se procedió a realizar el ANOVA de un factor, los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 28.

Tabla 28*ANOVA de un factor, según el tipo de sustrato*

| | F | gl1 | gl2 | p |
|-----------------|------|-----|-----|-------|
| Masa de EPS | 3.51 | 3 | 8 | 0.069 |
| % de biodegrad. | 1.07 | 3 | 8 | 0.416 |

Nota. Un valor p bajo sugiere una violación del supuesto de normalidad

Como se observa en la Tabla 28, los valores de p son mayores a 0.05, por lo que no existen diferencias estadísticamente significativas tanto en el factor Masa de EPS como en el Porcentaje de biodegradación; es por ello que no se realizó la prueba post hoc.

5.2.3. *Eficiencia de las larvas de Tenebrio molitor con sustratos orgánicos en la biodegradación de residuos de EPS para identificar la dosis óptima*

a. **Supuesto de normalidad**

A continuación, en la Tabla 29, se muestran los resultados de la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk, usado para muestras menores a 50, para los datos de la masa de residuos de EPS biodegradados por las larvas de *Tenebrio molitor*.

Tabla 29*Prueba de Normalidad Shapiro Wilk, según la dosis de sustrato*

| | Shapiro-Wilk | |
|-----------------|--------------|-------|
| | W | p |
| Masa de EPS | 0.954 | 0.692 |
| % de biodegrad. | 0.905 | 0.182 |

Nota. Un valor p bajo sugiere una violación del supuesto de normalidad

Como se observa en la Tabla 29, la prueba de Shapiro-Wilk indica que se cumple este supuesto en todos los grupos ($p > 0.05$).

b. Supuesto de homogeneidad de varianzas

A continuación, en la Tabla 30, se muestran los resultados de la prueba de homogeneidad de varianzas de Levene, para los datos de la masa de residuos de EPS biodegradados por las larvas de *Tenebrio molitor*.

Tabla 30

Prueba de Levene, según la dosis de sustrato

| | F | gl1 | gl2 | p |
|-----------------|-------|-----|-----|-------|
| Masa de EPS | 1.291 | 3 | 8 | 0.342 |
| % de biodegrad. | 0.228 | 3 | 8 | 0.874 |

Nota. Un valor p bajo sugiere una violación del supuesto de normalidad

Como se observa en la Tabla 30, la prueba de Levene indica que se cumple este supuesto en todos los grupos ($p > 0.05$).

c. Supuesto de independencia

Debido a que los datos de un grupo no influyen en los otros y a que cada grupo sigue condiciones específicas y no interactúa con ningún otro grupo, las muestras son independientes entre sí, cumpliéndose con el supuesto de independencia.

d. Supuesto de interacción aditiva

Puesto que los efectos individuales del tipo de sustrato y de la dosis de sustrato se suman para determinar el efecto en la biodegradación de EPS, se cumple el supuesto de interacción aditiva.

Debido a que se cumplen los cuatro supuestos, se procedió a realizar el ANOVA de un factor, los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 31.

Tabla 31*ANOVA de un factor, según la dosis de sustrato*

| | F | gl1 | gl2 | p |
|-----------------|--------------|------------|------------|-----------------|
| Masa de EPS | 147.8 | 3 | 8 | <.001 |
| % de biodegrad. | 15.6 | 3 | 8 | 0.001 |

Nota. Un valor p bajo sugiere una violación del supuesto de normalidad

Como se observa en la Tabla 31, los valores de p son mayores a 0.05, por lo que no existen diferencias estadísticamente significativas tanto en el factor Masa de EPS como en el Porcentaje de biodegradación. Es por ello que se realizó la prueba Post Hoc; en la Tabla 32 y Tabla 33, se muestran los resultados de la prueba.

Tabla 32*Prueba Post Hoc – Masa de EPS, según la dosis de sustrato*

| | | 0.00 | 0.25 | 0.50 | 0.75 |
|------|----------------------|-------------|--------------|-----------------|-----------------|
| 0.00 | Diferencia de medias | — | 0.204 | 0.476 | 0.678 |
| | valor p | — | 0.002 | <.001 | <.001 |
| 0.25 | Diferencia de medias | | — | 0.272 | 0.474 |
| | valor p | | — | <.001 | <.001 |
| 0.50 | Diferencia de medias | | | — | 0.202 |
| | valor p | | | — | 0.002 |
| 0.75 | Diferencia de medias | | | | — |
| | valor p | | | | — |

Como se observa en la Tabla 32, en todas las combinaciones de dosis, el p es menor a 0.05, lo que significa que existen diferencias significativas entre dichas combinaciones.

Tabla 33*Prueba Post Hoc – Porcentaje de biodegradación, según la dosis de sustrato*

| | | 0.00 | 0.25 | 0.50 | 0.75 |
|------|----------------------|-------------|-------------|-------------|--------------|
| 0.00 | Diferencia de medias | — | -0.918 | -15.3 | -29.4 |
| | valor p | — | 0.998 | 0.060 | 0.002 |
| 0.25 | Diferencia de medias | | — | -14.4 | -28.5 |
| | valor p | | — | 0.078 | 0.002 |
| 0.50 | Diferencia de medias | | | — | -14.1 |
| | valor p | | | — | 0.084 |
| 0.75 | Diferencia de medias | | | | — |
| | valor p | | | | — |

Como se observa en la Tabla 33, en las combinaciones de dosis de 0.00 con 0.75 y de 0.25 con 0.75, el p es menor a 0.05, lo que significa que existen diferencias significativas entre dichas combinaciones.

VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1. Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados

6.1.1. *Contrastación de la primera hipótesis específica*

H₀: El efecto de las larvas de *Tenebrio molitor* con sustratos orgánicos en la biodegradación de los residuos de EPS no es positivo.

H_A: El efecto de las larvas de *Tenebrio molitor* con sustratos orgánicos en la biodegradación de los residuos de EPS es positivo.

Según la Tabla 20 y la Tabla 21, se observa que las larvas de *Tenebrio molitor* con sustratos orgánicos tienen un efecto positivo en la biodegradación de residuos de EPS, específicamente la dosis incide en la masa de EPS ($F = 147.77$, $p = <.001$) y en el porcentaje de biodegradación ($F = 15.56$, $p = 0.001$); entonces se acepta la Hipótesis Alternativa (H_A).

6.1.2. *Contrastación de la segunda hipótesis específica*

H₀: La eficiencia de las larvas de *Tenebrio molitor* con sustratos orgánicos en la biodegradación de los residuos de EPS identifica que no existe un sustrato óptimo.

H_A: La eficiencia de las larvas de *Tenebrio molitor* con sustratos orgánicos en la biodegradación de los residuos de EPS identifica que existe un sustrato óptimo.

En la Tabla 28, se observa que tanto para la masa de EPS ($F = 3.51$, $p = 0.069$) como para el porcentaje de biodegradación ($F = 1.07$, $p = 0.416$) no se presentan diferencias significativas entre los tipos de sustratos, por ello la eficiencia de las larvas de *Tenebrio molitor* con sustratos orgánicos no identifica que existe un sustrato óptimo, entonces se acepta la Hipótesis Nula (H₀).

6.1.3. **Contrastación de la tercera hipótesis específica**

H₀: La eficiencia de las larvas de *Tenebrio molitor* con sustratos orgánicos en la biodegradación de los residuos de EPS identifica que no existe una dosis óptima.

H_A: La eficiencia de las larvas de *Tenebrio molitor* con sustratos orgánicos en la biodegradación de los residuos de EPS identifica que existe una dosis óptima.

En la Tabla 31, se observa que tanto para la masa de EPS ($F = 147.8$, $p < 0.001$) como para el porcentaje de biodegradación ($F = 15.06$, $p = 0.001$) se presentan diferencias significativas entre las dosis de sustratos, por ello la eficiencia de las larvas de *Tenebrio molitor* con sustratos orgánicos identifica que existe una dosis óptima, entonces se acepta la Hipótesis Alternativa (H_A).

6.2. **Contrastación de los resultados con otros estudios similares**

Según Palmer, y otros (2022), el consumo de EPS realizado en tres semanas de experimentación por 100 larvas de *Tenebrio molitor* fue de 26.8%; en cambio, para Yang, y otros (2021), en 60 días de experimentación y empleando 300 larvas de *Tenebrio molitor*, se biodegradaron 1.5 g de EPS de una masa inicial de 3 g, obteniendo una biodegradación del 50%. En esta investigación, se emplearon grupos de 100 larvas durante 30 días obteniéndose que, en los grupos que no se emplearon sustratos orgánicos (G1, G2 y G3), la biodegradación de EPS fue de 19.4% en promedio. Por lo expuesto, se demuestra que la biodegradación realizada por las larvas de *Tenebrio molitor*, sin emplear un sustrato orgánico, no es muy significativa.

Asimismo, en 30 días de tratamiento, 100 larvas de *Tenebrio molitor* con sustratos orgánicos (cáscaras de papa, hojarasca y salvado de trigo) consiguieron una biodegradación promedio de 34.45%, el grupo con mayor porcentaje de biodegradación fue el grupo G7, que tuvo una dosis de 75% de hojarasca, y fue de 53.19%. Por su parte, Chávez Muñoz, y otros (2022) demostró que, en 22 días, en el tratamiento de avena con EPS, las larvas lograron biodegradar en promedio 73.2%. Por lo que se demuestra que al añadir

sustratos orgánicos al proceso de biodegradación de EPS por medio de larvas de *Tenebrio molitor*, contribuye a dicho proceso debido a que aumenta el porcentaje de biodegradación de forma sustancial.

6.3. Responsabilidad ética de acuerdo a los reglamentos vigentes

La presente investigación titulada “Larvas de *Tenebrio molitor* con sustratos orgánicos en la biodegradación de residuos de poliestireno expandido (EPS) a escala de laboratorio, Callao 2023” se encuentra dentro de los principios y compromisos de responsabilidad ética según los reglamentos vigentes de la Universidad Nacional del Callao, en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional del Callao N°099-2021-CU y se ciñe al capítulo III: Titulación y Graduación con Ciclo Taller de Tesis.

Además, se cita conforme a la norma ISO 690, con el fin de no recurrir a plagio, respetando el reglamento de propiedad intelectual, la Resolución N° 1206-2019-R y el código del investigador, Resolución N° 260-2019-CU y siguiendo la Directiva N° 004-2022-R con el fin de cumplir la estructura adecuada.

Del mismo modo, el desarrollo de la investigación se centra en teorías que han sido debidamente referenciadas, lo que evidencia la originalidad de este tema y trabajo.

VII. CONCLUSIONES

- Se concluye que las larvas de *Tenebrio molitor* con los sustratos orgánicos logran biodegradar de forma eficiente los residuos de EPS, puesto que se evidenció una disminución constante en la masa de los residuos de EPS, así como un aumento progresivo del porcentaje de biodegradación.

- Se concluye que el efecto de las larvas de *Tenebrio molitor* con sustratos orgánicos en la biodegradación de residuos de EPS es positivo, debido a que, en los grupos en los que se emplearon sustratos orgánicos (G4, G5, G6, G7, G8, G9, G10, G11 y G12), la masa de estos residuos fue disminuyendo de forma constante y el porcentaje de biodegradación fue aumentando progresivamente llegando a alcanzar un promedio de 34.45%, a diferencia de los grupos en los que no se emplearon sustratos orgánicos (G1, G2 y G3) que alcanzaron en promedio 19.24%.

- Se concluye que la eficiencia de las larvas de *Tenebrio molitor* con sustratos orgánicos en la biodegradación de los residuos de EPS no identifica a ningún sustrato orgánico como óptimo, lo que quiere decir que el tipo de sustrato orgánico, sea cáscara de papa, hojarasca o salvado de trigo, no marca una diferencia en la biodegradación.

- Se concluye que la eficiencia de las larvas de *Tenebrio molitor* con sustratos orgánicos en la biodegradación de los residuos de EPS identifica como dosis óptima la de 75%, debido a que, en los grupos G6, G7 y G12 (grupos con dosis de 75% de cáscaras de papa, 75% de hojarasca y 75% de salvado de trigo, respectivamente), el porcentaje de biodegradación fue mayor que la de los grupos con menores dosis, alcanzando hasta un 53.17%.

VIII. RECOMENDACIONES

Se formulan las siguientes recomendaciones:

- Realizar la caracterización de las larvas de *Tenebrio molitor* para su agrupación debido a que, al no encontrarse en la misma etapa de crecimiento, algunas pueden desarrollarse primero y entrar en etapa de pupa, en donde son susceptibles de morir por canibalismo por parte de las larvas más jóvenes. Asimismo, en cierta etapa de su estadio larval, se evidencia canibalismo entre ellas, siendo las más perjudicadas las larvas pequeñas.
- Optar por otros sustratos orgánicos como cáscaras de verduras, de frutas y cereales, provenientes de residuos, con el fin de demostrar que existe una relación entre el tipo de sustrato empleado y la biodegradación de los residuos de EPS.
- Realizar la experimentación controlando parámetros como temperatura y humedad, con el fin de crear un entorno adecuado para el desarrollo de las larvas de *Tenebrio molitor* y así controlar la biodegradación de los residuos de EPS.
- Realizar más repeticiones de los grupos de experimentación para obtener más resultados, puesto que, al realizar el análisis estadístico, pueda obtenerse una mejor relación respecto al tipo de sustrato y dosis del mismo.
- Realizar la experimentación con una mayor dosis de sustrato orgánico, debido a que a mayor dosis se obtendrá una mayor biodegradación de los residuos de EPS.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albarracín Liendo, R. L., & Clavijo Koc, C. V. (Diciembre de 2021). Condiciones Ambientales y Biológicas del Tenebrio molitor en la degradación del poliestireno. *Ingeniería Investiga*, Vol. 3(N° 2), 54-61. doi:<https://doi.org/10.47796/ing.v3i2.531>
- Allenby, B. R., & Richards, D. J. (2011). *The green industrial revolution: Energy, engineering and economics*. World Scientific.
- Álvarez, C. (25 de Octubre de 2010). *El País*. Obtenido de El País: <https://blogs.elpais.com/eco-lab/2010/10/la-bandeja-blanca-depoliestireno.html>
- ANAPE. (2009). *Asociación Nacional de Poliestireno Expandido*. Obtenido de ANAPE: <https://anape.es/producto/>
- Arutchelvi, J., Sudhakar, M., Arkatkar, A., Doble, M., Bhaduri, S., & Uppara, P. V. (2008). Biodegradation of polyethylene and polypropylene. *Indian Journal of Biotechnology*, Vol. 7, 9-22. Obtenido de <https://nopr.niscpr.res.in/bitstream/123456789/7326/4/IJBT%207%281%29%209-22.pdf>
- Atkins, P., & Jones, L. (2010). *Principios de química: Los caminos del descubrimiento* (5ta ed.). Médica Panamericana.
- Barrera Castro, G. P. (2016). *Caracterización de las propiedades mecánicas y térmicas de muestras de EPS pos consumo, utilizadas en la industria de alimentos y sometidas a un proceso de recuperación*. Tesis, Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería, Bogotá. Obtenido de <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/55471/ginapaolabarreracastro.2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Booth, A., Sutton, A., & Papaioannou, D. (2016). *Systematic Approaches to a Successful Literature Review* (2da ed.). Sage. Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/Andrew-Booth-2/publication/235930866_Systematic_Approaches_to_a_Successful_Lite

ature_Review/links/5da06c7f45851553ff8705fa/Systematic-Approaches-to-a-Successful-Literature-Review.pdf

Bulak, P., Proc, K., Pytlak, A., Puszka, A., Gawdzik, B., & Bieganowski, A. (Octubre de 2021). Biodegradation of Different Types of Plastics by *Tenebrio molitor* Insect. *Polymers*. doi:<https://doi.org/10.3390/polym13203508>

CABI Head Office. (22 de Noviembre de 2019). *Tenebrio molitor* (European meal worm). *CABI Compendium*. doi:<https://doi.org/10.1079/cabicompendium.53231>

Campbell, D. T., & Stanley, J. C. (2015). *Experimental and Quasi-Experimental Designs for Research*. Ravenio Books.

Campbell, N. A., & Reece, J. B. (2007). *Biología* (Séptima Edición ed.). Madrid, España: Editorial Médica Panamericana.

Chavesta Saavedra, M. F., & Guerra Pérez, A. R. (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, 2019*. Tesis , Universidad Peruana Unión, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Tarapoto. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.12840/2355>

Chávez Muñoz, J. C., Fernández Terán, R. A., Bravo Moreira, C. D., Intriago Miranda, M. N., Bello Moreira, I. P., Mendoza Cedeño, E. J., . . . López Zambrano, P. I. (10 de Julio de 2022). Evaluación de poliestireno expandido (EPS) y polietileno de baja densidad (PEBD) como alimento para larvas de gorgojo negro (*Tenebrio molitor*). *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, Volumen 6(Número 4), 2369-2384. doi:https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i4.2762

Chen, C. (16 de Febrero de 2005). 一种利用昆虫T.m酶降解有机塑料的方法. *Intellectual Property Press*, 5. Obtenido de <https://patents.google.com/patent/CN1579652A/zh>

- Contreras Osorio, L. K. (2015). *Investigación de Mercados Aplicada a la Gestión de Poliestireno Expandido en la Ciudad de Pereira, Año 2015*. Tesis, Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira. Obtenido de <https://hdl.handle.net/11059/5894>
- Datta, S., Singh, J., Singh, S., & Singh, J. (2016). Earthworms, pesticides and sustainable agriculture: a review. *Environmental Science and Pollution Research*, 23, 8227-8243. doi:<https://doi.org/10.1007/s11356-016-6375-0>
- Díaz Gámez, G. M. (2014). *Uso de la larva de Tenebrio (Tenebrio molitor) como aditivo proteico, en la alimentación de codornices (Coturnix coturnix japonica)*. Tesis, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Guatemala. Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/35292448.pdf>
- EFSA Scientific Committee. (2015). Risk profile related to production and consumption of insects as food and feed. *EFSA Journal*, Vol. 13(No. 10), 60. doi:10.2903/j.efsa.2015.4257
- El Cuaderno de Por Qué Biotecnología*. (2006). Recuperado el 2023, de El Cuaderno de Por Qué Biotecnología: https://www.porquebiotecnologia.com.ar/Cuadernos/EI_Cuaderno_36.pdf
- Espinoza Pinchi, J. (2018). *Eficiencia de las larvas Tenebrio Molitor y Galleria Mellonella para la biodegradación de microplásticos de la playa Costa Azul, Ventanilla, Callao, 2018*. Tesis, Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería, Lima. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12692/49181>
- Eweis, J. B., Ergas, S. J., Chang, D., & Schroeder, E. D. (1998). *Bioremediation Principles*. Boston: William C Brown Pub.
- Eysenbach, G. (2006). The Open Access Advantage. *J Med Internet Res*, 8(2). doi:10.2196/jmir.8.2.e8
- Gadzama, N. M., & Happ, G. M. (1974). The structure and evacuation of the spermatophore of *Tenebrio molitor* L. (Coleoptera: Tenebrionidae). *Tissue*

and Cell, Volume 6, 95-108. doi:https://doi.org/10.1016/0040-8166(74)90025-1

- Gobbi, P., Martínez-Sánchez, A., Rojo, S., Boschetti, A., Milan, M. J., Llamusi, B., & Rojo, J. M. (2020). Use of Organic Wastes for Black Soldier Fly Larvae Production: Potential and Limitations. *Waste Management, 112*.
- Haines, C. P. (1991). *Insects and arachnids of tropical stored products: their biology and identification*. Natural Resources Institute (NRI).
- Hair Jr., J. F., Black, W. C., Babin, B. J., & Anderson, R. E. (2019). *Multivariate Data Analysis* (Eighth Edition ed.). Hampshire, UK: Cengage Learning EMEA. Obtenido de <https://www.drnishikantjha.com/papersCollection/Multivariate%20Data%20Analysis.pdf>
- Halloran, A., Mekonnen, M. M., & Muir, G. (2018). The Water Footprint of Insects for Food and Feed Production: A Review. *Water Research, 144*, 1-11.
- Ho, B. T., Roberts, T. K., & Lucas, S. (2017). An overview on biodegradation of polystyrene and modified polystyrene: the microbial approach. *Critical Reviews in Biotechnology, Volumen 38(Nº 2)*, 308-320. doi:https://doi.org/10.1080/07388551.2017.1355293
- Indra Putra, I. L., & Nurcahyasari, A. (13 de Agosto de 2021). Degradation of some polystyrene using beetle larvae (*Tenebrio molitor* L.). *BioLink, Vol. 8(No. 1)*. doi:10.31289/biolink.v8i1.5001
- Jang, Y. C. (2020). Development of an assessment method for the recycling potential of waste expanded polystyrene (EPS) in construction applications. *Waste Management, 115*, 9-19.
- Jhonson, B., & Christensen, L. (2019). *Educational Research: Quantitative, Qualitative, and Mixed Approaches* (7 ed.). Sage Publications, Inc.
- Kerlinger, F. N., & Lee, H. B. (2000). *Foundations of Behavioral Research* (Cuarta Edición ed.). Harcourt College.

- Krebs, C. J. (2014). *Ecology: The Experimental Analysis of Distribution and Abundance* (Sexta ed.). Harlow, Reino Unido: Pearson. Obtenido de https://www.sci.muni.cz/botany/nekola/foe/Krebs_Charles_J._-_Ecology___the_experimental_analysis_of_distribution_and_abundance-Pearson_Education_Limited___2014_.pdf
- Li, Q., Zheng, L., Cai, H., Garza, E., Yu, Z., & Zhou, S. (2018). Resource Recovery from Waste Streams of a Slaughterhouse by Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) Larvae. *Waste Management*, 79, 44-54.
- Makkar, H. P., Tran, G., Heuzé, V., & Ankers, P. (2014). State-of-the-Art on Use of Insects as Animal Feed. *Animal Feed Science and Technology*, 197, 1-33.
- Mohee, R., & Mudhoo, A. (2012). *Bioremediation and Sustainability: Research and Applications*. Wiley. Obtenido de <https://www.wiley.com/en-us/Bioremediation+and+Sustainability:+Research+and+Applications-p-9781118062845>
- Molina Escobar, D., & Cardona Montoya, A. (2013). *Planta móvil para la recolección y transformación de residuos de poliestireno expandido (EPS)*. Tesis, Escuela de Ingeniería de Antioquia. Obtenido de https://repository.eia.edu.co/bitstream/handle/11190/743/MolinaDaniela_2013_PlantaMovilRecoleccion.pdf?sequence=7&isAllowed=y
- Mor, R., & Siván, A. (Noviembre de 2008). Biofilm formation and partial biodegradation of polystyrene by the actinomycete *Rhodococcus ruber*: biodegradation of polystyrene. *Epub*. doi:10.1007/s10532-008-9188-0
- Morales-Ramos, J. A., Rojas, M. G., & Shapiro-Ilan, D. I. (2014). *Mass Production of Beneficial Organisms: Invertebrates and Entomopathogens*. doi:<https://doi.org/10.1016/C2011-0-04576-3>
- OECD, O. f. (2022). *Global Plastics Outlook: Policy Scenarios to 2060*. Obtenido de <https://www.oecd-ilibrary.org/sites/aa1edf33-en/index.html?itemId=/content/publication/aa1edf33-en>

- OECD, O. f.-o. (2022). *Global Plastics Outlook Economic Drivers. Environmental Impacts and Policy Options*. Obtenido de <https://www.oecd-ilibrary.org/sites/de747aef-en/index.html?itemId=/content/publication/de747aef-en>
- Oonincx, D. G., van Broekhoven, S., van Huis, A., & van Loon, J. J. (Diciembre de 2015). Feed Conversion, Survival and Development, and Composition of Four Insect Species on Diets Composed of Food By-Products. *10(12)*. doi:<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0222043>
- Palmer, K. J., Lauder, K., Christopher, K., Guerra, F., Welch, R., & Bertuccio, A. J. (14 de Enero de 2022). Biodegradation of Expanded Polystyrene by Larval and Adult Stages of *Tenebrio molitor* with Varying Substrates and Beddings. *Environmental Processes*, *9(3)*. doi:<https://doi.org/10.1007/s40710-021-00556-6>
- Peng, B.-Y., Su, Y., Chen, Z., Chen, J., Zhou, X., Benbow, M. E., . . . Zhang, Y. (16 de Abril de 2019). Biodegradation of Polystyrene by Dark (*Tenebrio obscurus*) and Yellow (*Tenebrio molitor*) Mealworms (Coleoptera: Tenebrionidae). *Environmental Science & Technology*, *53(9)*, 5256-5265. doi:[10.1021/acs.est.8b06963](https://doi.org/10.1021/acs.est.8b06963)
- Popper, K. R. (1980). *La Lógica de la Investigación Científica*. (V. Sánchez de Zavala, Trad.) Madrid: Editorial Tecnos.
- Posada Bustamante, B. (1994). La Degradación de los Plásticos. *Revista Universidad Eafit*, *67 - 86*. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10784/16534>
- Quintero Peña, C. H. (2013). *Reciclaje termo - mecánico del poliestireno expandido (Icopor), como una estrategia de mitigación de su impacto ambiental en rellenos sanitarios*. Tesis, Universidad de Manizales, Manizales. Obtenido de Repositorio Institucional Universidad de Manizales: <https://ridum.umanizales.edu.co/xmlui/bitstream/handle/20.500.12746/762/TESIS%20CARLOS%20QUINTERO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Samsa. (s.f.). Obtenido de Samsa:
https://www.alimentovivosamsa.com/blog/102_metamorfosis-y-ciclo-vital-del-gusano-de-la-h.html
- San Antonio Gonzáles, A. (2017). *Caracterización de compuestos eco-eficientes de yeso aligerado con residuo de poliestireno extruido (XPS)*. Tesis, Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Edificación, Madrid. Obtenido de https://oa.upm.es/48007/1/ALICIA_DE_SAN_ANTONIO_GONZALEZ.pdf
- Scott, G. (2002). *Degradable Polymers Principles and Applications* (2 ed.). Aston University: Gerald Scott. doi:<https://doi.org/10.1007/978-94-017-1217-0>
- SIGERSOL. (2022). *SIGERSOL*. Obtenido de <https://sistemas.minam.gob.pe/SigersolMunicipal/#/panel>
- Son, H., & Park, H. (2019). Life cycle assessment of expanded polystyrene (EPS) waste management options: A case study of South Korea. *Resources, Conservation and Recycling*, 140, 259-267.
- Soriano Salazar, M. B., & Luna-Figueroa, J. (Noviembre de 2012). Tenebrio molitor, "gusano de harina", Alternativa nutritiva en la dieta de peces y de otros organismos. *Divulgación Acuícola*, 1(3). Obtenido de <http://divulgacionacuicola.com.mx/revistas/3-Revista%20Divulgaci%C3%B3n%20Acu%C3%ADcola%20Noviembre2012.pdf>
- Soto, H. (Julio de 2003). Gusanos de la harina (Larvas de Tenebrio molitor). *El Canario Uruguayo*(N° 2), 39-40.
- Statista Research Department. (24 de Marzo de 2023). *Statista*. Recuperado el Abril de 2023, de Statista: <https://www.statista.com/statistics/1065889/global-polystyrene-production-capacity/#statisticContainer>

- Tang, Z.-L., Kuo, T.-A., & Liu, H.-H. (Enero de 2017). The Study of the Microbes Degraded Polystyrene. *Advances in Technology Innovation, Vol. 2*(No. 1). Obtenido de <https://ojs.imeti.org/index.php/AITI/article/view/204>
- Thiel, C. L., Hirth, T., & Brenner, D. (2018). Life cycle assessment of different end-of-life options for packaging materials. *Sustainability, 10*(11), 4192.
- Vázquez-Rowe, I. (2020). Environmental assessment of waste management strategies for post-consumer packaging waste in Uruguay. *Journal of Cleaner Production, 259*.
- Vera-Marmanillo, V. (2022). Biodegradación del Poliestireno Expandido con Microbiota instestinal aislada de *Tenebrio molitor* (Tenebrionidae). *Techno Review, 2-10*. doi:<https://doi.org/10.37467/revtechno.v11.4405>
- Verma, R., Vinoda, K. S., Papireddy, M., & Gowda, A. (4 de Agosto de 2016). Toxic Pollutants from Plastic Waste- A Review. *Procedia Environmental Sciences, 35*, 701-708. doi:<https://doi.org/10.1016/j.proenv.2016.07.069>
- Wang, Y., & Zhang, Y. (Setiembre de 2015). Investigation of Gut-Associated Bacteria in *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae) Larvae Using Culture-Dependent and DGGE Methods. *Article Navigation, Volumen 108*(N° 5), 941-949. doi:<https://doi.org/10.1093/aesa/sav079>
- White, T. L., & McBurney, D. H. (2013). *Research Methods*. Cengage Learning.
- Wu, L. (2019). Environmental performance and management of food containers in China: A life cycle assessment and cost–benefit analysis. *Journal of Cleaner Production, 2011*, 850-858.
- Yang, L., Gao, J., Zhuang, G., Peng, X., Wu, W.-M., & Zhuang, X. (Enero de 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, Volumen 262*, 127818. doi:<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127818>

- Yang, S.-S., & Wu, W.-M. (Diciembre de 2018b). Ubiquity of polystyrene digestion and biodegradation within yellow mealworms, larvae of *Tenebrio molitor* Linnaeus (Coleoptera: Tenebrionidae). *Chemosphere*, 262-271. doi:<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.08.078>
- Yang, S.-S., Brandon, A. M., Flanagan, J. C., Yang, J., Ning, D., Cai, S.-Y., . . . Wu, W.-M. (Enero de 2018a). Biodegradation of polystyrene wastes in yellow mealworms (larvae of *Tenebrio molitor* Linnaeus): Factors affecting biodegradation rates and the ability of polystyrene-fed larvae to complete their life cycle. *Chemosphere*, Vol. 191, 979-989. doi:<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.10.117>
- Yang, Y., Yang, J., Wu, W.-M., Zhao, J., Song, Y., Gao, L., . . . Jiang, L. (Setiembre de 2015). Biodegradation and Mineralization of Polystyrene by Plastic-Eating Mealworms: Part 1. *Environ. Sci. Technol.* doi:<https://doi.org/10.1021/acs.est.5b02661>

X. ANEXOS

Matriz de consistencia

| PROBLEMA | OBJETIVO | HIPÓTESIS | VARIABLES | DIMENSIONES | INDICADORES | ÍNDICES | METODOLOGÍA |
|---|---|---|---|--|----------------------------|-------------------------------|---|
| Problema General | Objetivo General | Hipótesis General | | | | Número de individuos (larvas) | número |
| ¿Cuál es la eficiencia de las larvas de <i>Tenebrio molitor</i> con sustratos orgánicos en la biodegradación de los residuos de EPS? | Evaluar la eficiencia de las larvas de <i>Tenebrio molitor</i> con sustratos orgánicos en la biodegradación de residuos de EPS. | Las larvas de <i>Tenebrio molitor</i> con sustratos orgánicos son eficientes en la biodegradación de los residuos de EPS. | | Segunda etapa de ciclo de vida del <i>Tenebrio molitor</i> | Longitud | mm | Tipo de investigación: Aplicada Nivel de investigación: Explicativa Enfoque: Cuantitativo |
| Problemas Específicos | Objetivos Específicos | Hipótesis Específicas | | | | | |
| ¿Cuál es el efecto de las larvas de <i>Tenebrio molitor</i> con sustratos orgánicos en la biodegradación de los residuos de EPS? | Analizar el efecto de las larvas de <i>Tenebrio molitor</i> con sustratos orgánicos en la biodegradación de residuos de EPS. | El efecto de las larvas de <i>Tenebrio molitor</i> con sustratos orgánicos en la biodegradación de los residuos de EPS es positivo. | Larvas de <i>Tenebrio molitor</i> con sustratos orgánicos | | Masa | g | Diseño: Experimental Método: Hipotético deductivo Técnica: Observación experimental |
| ¿Cuál es la eficiencia de las larvas de <i>Tenebrio molitor</i> con sustratos orgánicos en la biodegradación de residuos de EPS para identificar el sustrato óptimo? | Determinar la eficiencia de las larvas de <i>Tenebrio molitor</i> con sustratos orgánicos en la biodegradación de residuos de EPS para identificar el sustrato óptimo | La eficiencia de las larvas de <i>Tenebrio molitor</i> con sustratos orgánicos en la biodegradación de los residuos de EPS identifica al sustrato óptimo. | | Fuente de nutrientes | Proporción de sustrato/EPS | número | Instrumento: Balanza analítica, vernier eléctrico y fichas. Población: Los residuos de EPS generados en el sector industrial producto del embalaje o protección de electrodomésticos y equipos eléctricos. |
| ¿Cuál es la eficiencia de las larvas de <i>Tenebrio molitor</i> con sustratos orgánicos en la biodegradación de residuos de EPS para identificar la dosis óptima de sustrato? | Determinar la eficiencia de las larvas de <i>Tenebrio molitor</i> con sustratos orgánicos en la biodegradación de residuos de EPS para identificar la dosis óptima de sustrato. | La eficiencia de las larvas de <i>Tenebrio molitor</i> con sustratos orgánicos en la biodegradación de los residuos de EPS identifica a la dosis óptima. | | | Efecto | g % | Muestra: La muestra estuvo conformada por un total de 7.5 g de residuos de EPS los cuales fueron distribuidos en doce (12) grupos. |
| | | | Residuos de EPS | Cambio de propiedades | Eficiencia | g % | Prueba estadística: ANOVA |

Instrumentos para la recolección de datos

Figura 23

Ficha 1: Características de larvas de *Tenebrio molitor*

| CARACTERÍSTICAS DE LARVAS DE <i>Tenebrio molitor</i> | | | | |
|--|----------|---------------|------------------|----------------|
| Fecha: | | | | |
| Hora: | | | | |
| Observaciones: | | | | |
| Grupo | Peso (g) | Longitud (mm) | Número de larvas | Larvas muertas |
| G1 | | | | |
| G2 | | | | |
| G3 | | | | |
| G4 | | | | |
| G5 | | | | |
| G6 | | | | |
| G7 | | | | |
| G8 | | | | |
| G9 | | | | |
| G10 | | | | |
| G11 | | | | |
| G12 | | | | |

Figura 24

Ficha 2: Biodegradación de EPS

| BIODEGRADACIÓN DE EPS | | | | |
|-----------------------|-------------------|-----------------|-----------------------|---------------------|
| Fecha: | | | | |
| Hora: | | | | |
| Observaciones: | | | | |
| Grupo | Peso anterior (g) | Peso actual (g) | Variación de peso (g) | % de biodegradación |
| G1 | | | | |
| G2 | | | | |
| G3 | | | | |
| G4 | | | | |
| G5 | | | | |
| G6 | | | | |
| G7 | | | | |
| G8 | | | | |
| G9 | | | | |
| G10 | | | | |
| G11 | | | | |
| G12 | | | | |

Figura 25

Ficha 3: Proceso de biodegradación

| PROCESO DE BIODEGRADACIÓN | | | | | | | | | |
|------------------------------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Grupo: | Sustrato: | | | | | | | | |
| | Proporción: | | | | | | | | |
| | Día 0 | Día 1 | Día 2 | Día 3 | Día 4 | Día 5 | Día 6 | Día 7 | Día 8 |
| Número de larvas | | | | | | | | | |
| Longitud de larvas (mm) | | | | | | | | | |
| Peso de EPS (g) | | | | | | | | | |
| Variación de peso de EPS (g) | | | | | | | | | |
| % de biodegradación | | | | | | | | | |

Validación de Instrumentos

INFORME DE JUICIO DE EXPERTO DEL INSTRUMENTO DE MEDICIÓN

I. DATOS GENERALES

Apellidos y nombres del experto: *TOME RAMOS, Carlos Omarico*
 Institución donde labora: *FIARN/UNAC*
 Instrumento de evaluación: *FICHAS PARA MEDIR LA BIODEGRADACIÓN*
 Autor del instrumento: Miguel Díaz Méndez, Jennifer Posada Delgado y Stefano Pozo Brito

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

| Indicadores | Criterios | Deficiente 1 - 20 | Regular 21 - 40 | Buena 41 - 60 | Muy buena 61 - 80 | Excelente 81 - 100 |
|--------------------|---|----------------------|--------------------|------------------|-------------------------|-----------------------|
| 1. Claridad | Está formulado con lenguaje apropiado | | | | 80 | |
| 2. Objetividad | Está expresado en conductas observables | | | | 80 | |
| 3. Actualidad | Adecuado al avance de la ciencia y la tecnología | | | | 70 | |
| 4. Organización | Existe una organización lógica entre variables e indicadores. | | | | 80 | |
| 5. Suficiencia | Comprende los aspectos en calidad y cantidad. | | | | 80 | |
| 6. Intencionalidad | Adecuado para valorar aspectos de la inteligencia emocional. | | | | 80 | |
| 7. Consistencia | Consistencia entre la formulación de problema, objetivos e hipótesis. | | | | 75 | |
| 8. Coherencia | De indicadores y dimensiones. | | | | 75 | |
| 9. Metodología | La estrategia responde al propósito de la investigación. | | | | 80 | |

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

Es un tema interesante e importante en la biorremediación, en el cual se debe considerar la biodegradación por las poblaciones microbianas en el tracto digestivo de los bovinos

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN

77.7

Lugar y fecha:

N° DNI: *07685630*

Teléfono: *950953253*

[Firma]
Firma

INFORME DE JUICIO DE EXPERTO DEL INSTRUMENTO DE MEDICIÓN

I. DATOS GENERALES

Apellidos y nombres del experto: Lozano Vieytes Luis Enrique

Institución donde labora: Universidad Nacional del Callao - UNAC

Instrumento de evaluación: BIODEGRADACIÓN DE EPS

Autor del instrumento: Miguel Díaz Méndez, Jennifer Posada Delgado y Stefano Pozo Brito

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

| Indicadores | Criterios | Deficiente 1 – 20 | Regular 21 – 40 | Buena 41 – 60 | Muy buena 61 – 80 | Excelente 81 – 100 |
|--------------------|---|----------------------|--------------------|------------------|-------------------------|-----------------------|
| 1. Claridad | Está formulado con lenguaje apropiado | | | | X | |
| 2. Objetividad | Está expresado en conductas observables | | | | X | |
| 3. Actualidad | Adecuado al avance de la ciencia y la tecnología | | | | X | |
| 4. Organización | Existe una organización lógica entre variables e indicadores. | | | | X | |
| 5. Suficiencia | Comprende los aspectos en calidad y cantidad. | | | | X | |
| 6. Intencionalidad | Adecuado para valorar aspectos de la inteligencia emocional. | | | | X | |
| 7. Consistencia | Consistencia entre la formulación de problema, objetivos e hipótesis. | | | | X | |
| 8. Coherencia | De indicadores y dimensiones. | | | | X | |
| 9. Metodología | La estrategia responde al propósito de la investigación. | | | | X | |

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

Los instrumentos citados son muy buenos para la aplicación de la investigación.

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN

El Promedio de Valoración es de 80.

Lugar y

fecha: Callao,

18 de Julio de

2023

N° DNI:

41894276

Teléfono: 995903187



Firma

INFORME DE JUICIO DE EXPERTO DEL INSTRUMENTO DE MEDICIÓN

I. DATOS GENERALES

Apellidos y nombres del experto: Dolfer Julca Zuloeta

Institución donde labora: Universidad Nacional del Callao- UNAC

Instrumento de evaluación: Fichas de biodegradación de EPS

Autor del instrumento: Miguel Diaz Mendez, Jennifer Posada Delgado y Stefano Pozo Brito

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

| Indicadores | Criterios | Deficiente 1 – 20 | Regular 21 – 40 | Buena 41 – 60 | Muy buena 61 – 80 | Excelente 81 – 100 |
|--------------------|---|----------------------|--------------------|------------------|-------------------------|-----------------------|
| 1. Claridad | Está formulado con lenguaje apropiado | | | | 78 | |
| 2. Objetividad | Está expresado en conductas observables | | | | 80 | |
| 3. Actualidad | Adecuado al avance de la ciencia y la tecnología | | | | 78 | |
| 4. Organización | Existe una organización lógica entre variables e indicadores. | | | | | 85 |
| 5. Suficiencia | Comprende los aspectos en calidad y cantidad. | | | | 78 | |
| 6. Intencionalidad | Adecuado para valorar aspectos de la inteligencia emocional. | | | | 80 | |
| 7. Consistencia | Consistencia entre la formulación de problema, objetivos e hipótesis. | | | | | 85 |
| 8. Coherencia | De indicadores y dimensiones. | | | | 80 | |
| 9. Metodología | La estrategia responde al propósito de la investigación. | | | | | 85 |

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

El instrumento de medición utilizado en la tesis asegurara la validez y confiabilidad de los resultados obtenidos así mismo fortalece la calidad y la robustez de la investigación.

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN

81

Lugar y fecha: Callao 20 de Julio del 2023

N° DNI: 45754063

Teléfono: 979 377 518


Firma

Marco Normativo

Según Núñez (2008), el marco normativo es una parte fundamental de la tesis ya que permite al lector conocer las leyes, regulaciones, normativas y estándares que regulan el tema de investigación, lo que proporciona un contexto y una base sólida para la investigación.

A continuación, se presentan las leyes y normativas relacionadas a la presente investigación:

- Proyecto de Declaración Ministerial de la Asamblea de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente de 2019. En su literal I), menciona lo siguiente:

"Abordaremos los daños causados a nuestros ecosistemas por el uso insostenible y la eliminación de productos de plástico, entre otras cosas reduciendo significativamente los plásticos de un solo uso. Insostenibles de productos de plástico, entre otras cosas reduciendo significativamente de un solo uso para 2030, y trabajaremos con el sector privado para encontrar alternativas asequibles y alternativas asequibles y respetuosas con el medio ambiente"

- Directiva (UE) 2019/904 del Parlamento Europeo y del Consejo, referida a la reducción del impacto de determinados productos de plástico en el medio ambiente.
- Ley N° 28611, Ley General del Medio Ambiente, establece los siguientes artículos:

"Artículo 66.- De la salud ambiental

66.1 La prevención de riesgos y daños a la salud de las personas es prioritaria en la gestión ambiental. Es responsabilidad del Estado, a través de la Autoridad de Salud y de las personas naturales y jurídicas dentro del territorio nacional, contribuir a una efectiva

gestión del ambiente y de los factores que generan riesgos a la salud de las personas.”

“Artículo 123.- De la investigación ambiental científica y tecnológica

La investigación científica y tecnológica está orientada, en forma prioritaria, a proteger la salud ambiental, optimizar el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales y a prevenir el deterioro ambiental, tomando en cuenta el manejo de los fenómenos y factores que ponen en riesgo el ambiente; el aprovechamiento de la biodiversidad, la realización y actualización de los inventarios de recursos naturales y la producción limpia y la determinación de los indicadores de calidad ambiental.”

- Ley N° 30884, ley que regula el plástico de un solo uso y los recipientes o envases descartables.
- Decreto Supremo N° 006-2019-MINAM, decreto que aprueba el reglamento de la Ley N° 30884
- Decreto Legislativo N° 1278, decreto que aprueba la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos
- Decreto Legislativo N° 1501, decreto que modifica el D.L. N° 1278
- Decreto Supremo N° 014-2017-MINAM, decreto que aprueba el Reglamento del D.L. N° 1278
- Decreto Supremo N° 001-2022-MINAM, decreto que modifica el D.S. N° 014-2017-MINAM
- Decreto Supremo N° 244-2019-EF, decreto que aprueba el Reglamento del impuesto al consumo de las bolsas de plástico.
- Decreto Supremo N° 013-2018-MINAM, decreto que aprueba la reducción del plástico de un solo uso y promueve el consumo responsable del plástico en las entidades del Poder Ejecutivo

- Resolución Ministerial N° 058-2020-MINAM, resolución que aprueba los Lineamientos para el desarrollo de acciones de comunicación, educación, capacitación y sensibilización sobre el consumo responsable y la producción sostenible de los bienes de plástico y la gestión integral de sus residuos.