

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental

Tesis

**Biodegradación del poliestireno expandido
mediante el uso de la especie tenebrio
molitor (gusano de harina), Arequipa - 2022**

Marvin Steve Valladolid Medina

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Ambiental

Arequipa, 2023

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

BIODEGRADACIÓN DEL POLIESTIRENO EXPANDIDO MEDIANTE EL USO DE LA ESPECIE Tenebrio molitor (GUSANO DE HARINA), AREQUIPA – 2022

ORIGINALITY REPORT

11 %
SIMILARITY INDEX

11 %
INTERNET SOURCES

3 %
PUBLICATIONS

5 %
STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1 repositorio.continental.edu.pe 2 %
Internet Source

2 docplayer.es 2 %
Internet Source

3 repositorio.ucv.edu.pe 1 %
Internet Source

4 hdl.handle.net 1 %
Internet Source

5 1library.co <1 %
Internet Source

6 Submitted to Gitam University <1 %
Student Paper

7 repositorio.unaj.edu.pe <1 %
Internet Source

8 Submitted to Universidad Continental <1 %
Student Paper

tesis.ucsm.edu.pe

9	Internet Source	<1 %
10	issuu.com Internet Source	<1 %
11	repositorio.unap.edu.pe Internet Source	<1 %
12	pesquisa.bvsalud.org Internet Source	<1 %
13	repositorio.unp.edu.pe Internet Source	<1 %
14	repository.udistrital.edu.co Internet Source	<1 %
15	www.bdigital.unal.edu.co Internet Source	<1 %
16	repositorio.uap.edu.pe Internet Source	<1 %
17	repositorio.undac.edu.pe Internet Source	<1 %
18	www.slideshare.net Internet Source	<1 %
19	www.plataformaarquitectura.cl Internet Source	<1 %
20	Verónica Vera-Marmanillo. "Biodegradación del poliestireno expandido con microbiota	<1 %

intestinal aislada de Tenebrio molitor (TENEBRIONIDAE)", TECHNO REVIEW. International Technology, Science and Society Review /Revista Internacional de Tecnología, Ciencia y Sociedad, 2022

Publication

21

repositorio.upla.edu.pe

Internet Source

<1 %

22

repository.unad.edu.co

Internet Source

<1 %

23

vm02.ecologic.eu

Internet Source

<1 %

24

Submitted to Pontificia Universidad Catolica del Peru

Student Paper

<1 %

25

repositorio.unicordoba.edu.co

Internet Source

<1 %

26

Submitted to Universidad de Almeria

Student Paper

<1 %

27

idoc.pub

Internet Source

<1 %

28

nanopdf.com

Internet Source

<1 %

29

porelojodelacerradura.com.do

Internet Source

<1 %

30	repositorio.upch.edu.pe Internet Source	<1 %
31	repositorio.urp.edu.pe Internet Source	<1 %
32	doczz.es Internet Source	<1 %
33	eol.org Internet Source	<1 %
34	repositorio.uaustral.edu.pe Internet Source	<1 %
35	repositorio.unfv.edu.pe Internet Source	<1 %
36	repositorio.uns.edu.pe Internet Source	<1 %
37	repositorio.uss.edu.pe Internet Source	<1 %
38	www.fao.org Internet Source	<1 %
39	dspace.uib.es Internet Source	<1 %
40	experiencias.psoe.es Internet Source	<1 %
41	repositorio.ucp.edu.pe Internet Source	<1 %

42	repositorio.une.edu.pe Internet Source	<1 %
43	repositorioinstitucional.buap.mx Internet Source	<1 %
44	repositorioslatinoamericanos.uchile.cl Internet Source	<1 %
45	www.aislantescelulosicos.com Internet Source	<1 %
46	Submitted to Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo Student Paper	<1 %
47	repository.pedagogica.edu.co Internet Source	<1 %
48	ciencialatina.org Internet Source	<1 %
49	lookformedical.com Internet Source	<1 %
50	repositorio.autonoma.edu.co Internet Source	<1 %
51	repositorio.unj.edu.pe Internet Source	<1 %
52	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Student Paper	<1 %

AGRADECIMIENTOS

Agradecer a Dios por darme salud y fuerza durante todo este tiempo de mi vida. Agradecer a mi asesor, Steve Dann Camargo Hinostraza, por el apoyo y colaboración durante el proceso de la presente investigación. Agradecer también a la Universidad Continental por poder darme la oportunidad de titularme en su casa de estudios brindando todas las herramientas posibles para el proceso de titulación. Agradecer a mi prima, Estefani, por estar siempre apoyándome en cada proceso de elaboración de la presente investigación.

DEDICATORIA

A mi madre por ser mi apoyo incondicional en el transcurso de estos años de estudio e investigación. También por demostrarme que a pesar de las adversidades se puede salir adelante, siendo padre y madre durante toda mi vida, también la presente tesis está dedicada a mi abuela en paz descanse; pues fue mi segunda madre y me dio los mejores momentos de mi vida.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	2
DEDICATORIA	3
RESUMEN.....	10
INTRODUCCIÓN	12
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	14
1.1. Planteamiento y formulación del problema.....	14
1.1.1. Problema general.....	15
1.1.2. Problemas específicos	15
1.2. Objetivos	15
1.2.1. Objetivo general	15
1.2.2. Objetivos específicos.....	15
1.3. Justificación e importancia.....	15
1.4. Hipótesis.....	16
1.5. Operacionalización de variables.....	17
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	18
2.1. Antecedentes de la investigación	18
a) Antecedentes internacionales	18
b) Antecedentes nacionales	21
2.2. Bases teóricas	25
2.2.1. Poliestireno:.....	25
2.3. Definición de términos básicos	30
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA	31
3.1. Método y alcance de la investigación.....	31
3.1.1. Método general.....	31
3.1.2. Tipo de investigación	31
3.1.3. Nivel de investigación	31
3.2. Diseño de la investigación.....	31
3.3. Población y muestra	32
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	32
3.4.1. Técnicas e instrumentos	32
3.4.2. Área de estudio.....	32
3.4.3. Materiales	34
3.4.4. Procedimientos	34

CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	38
4.1. Presentación de resultados	38
4.2. Prueba de hipótesis.....	43
4.3. Discusión de resultados	46
CONCLUSIONES	48
RECOMENDACIONES	49
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50
ANEXOS.....	52
ANEXO 1: INSTRUMENTO UTILIZADO PARA EVALUACION DE BIODEGRADACION.....	52
ANEXO 2: PRUEBAS FOTOGRAFICAS EN GENERAL.....	53
ANEXO 3: SOLICITUD DE USO DE INSTRUMENTO EN EL LABORATORIO DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTIN AREQUIPA (UNSA)	67

Índice de Tablas

Tabla 1 Operacionalización de las variables	17
Tabla 2 Determinación de peso y espesor del poliestireno expandido.....	38
Tabla 3 Dimensiones de cada tipo de poliestireno expandido utilizados en la investigación.....	39
Tabla 4 Resultados obtenidos del proceso de degradación	42
Tabla 5 Análisis de varianza para degradación	43

Índice de gráficos

Figura 1 Conglomerado de gusanos Tenebrio molitor	27
Figura 2 Diferentes etapas de crecimiento del Tenebrio molitor	29
Figura 3 Área de estudio donde se realizó la degradación	33
Figura 4 Lugar de laboratorios de Biología de la UNSA	33
Figura 5 Medición del gusano tenebrio molitor	39
Figura 6 Gusanos tenebrio molitor fase de larva adulta	40
Figura 7 tenebrio molitor en la fase de pupa	40
Figura 8 tenebrio molitor en la fase de escarabajo	40
Figura 9 Gráfica de interacción para el % degradación	44
Figura 10 Gráfica de efectos principales para el % degradación	45
Figura 11 Superficie de respuesta estimada	45
Figura 12 Instrumento de observación de diferencia de pesos	52
Figura 13 Caja de pedido de gusanos tenebrio molitor	53
Figura 14 Caja de gusanos mostrados por Kuru Wasi	53
Figura 15 Instalación de peceras separadas por cantidades de gusanos	54
Figura 16 Instalación de peceras con los gusanos	54
Figura 17 Balanza analítica de laboratorio	54
Figura 18 Muestra 1 de 100 TM - Vaso	55
Figura 19 Muestra 2 de 100 TM - Vaso	55
Figura 20 Muestra 1 de 150 TM - Vaso	55
Figura 21 Muestra 2 de 150 TM - Vaso	56
Figura 22 Muestra 1 de 100 TM - Embalaje	56
Figura 23 Muestra 2 de 100 TM - Embalaje	56
Figura 24 Muestra 1 de 150 TM - Embalaje	57
Figura 25 Muestra 2 de 150 TM - Embalaje	57
Figura 26 Degradación en residuos de embalaje	57
Figura 27 Degradación en vasos de Poliestireno	58
Figura 28 Pecera de la muestra 1 de 100 TM - vaso	58
Figura 29 Degradación presentada en la parte externa del vaso Muestra 1 – 100 TM	58
Figura 30 Presentación de agujero en la parte de la base del vaso Muestra 1 - 100 TM	59
Figura 31 Degradación presentada al interior del vaso Muestra 1 - 100 TM	59
Figura 32 Pecera de muestra 2 de 100 TM - vaso	59
Figura 33 Pecera de muestra 1 de 150 TM - Vaso	60
Figura 34 Degradación en la base del vaso de poliestireno	60
Figura 35 Pecera de muestra 2 de 150 TM - Vaso	60
Figura 36 Presentación de agujeros producidos por los gusanos TM	61
Figura 37 Pecera muestra 1 de 100 TM - Embalaje	61
Figura 38 Presentación de degradación en el embalaje por el gusano	61
Figura 39 Pecera de muestra 2 de 100 TM - Embalaje	62
Figura 40 Presentación de degradación por el gusano	62
Figura 41 Pecera de muestra 1 de 150 TM - Embalaje	62
Figura 42 Degradación del embalaje por el gusano haciendo agujeros	63
Figura 43 Pecera de muestra 2 de 150 TM - Embalaje	63
Figura 44 Degradación producida por el gusano en la muestra de embalaje	63
Figura 45 Toma de muestras finales en laboratorio	64
Figura 46 Toma de peso final muestra 1 de 100 TM - Vaso	64

Figura 47 Toma de peso final muestra 2 de 100 TM - Vaso.....	64
Figura 48 Toma de peso final muestra 1 de 150 TM - Vaso.....	65
Figura 49 Toma de peso final de muestra 2 de 150 TM - Vaso	65
Figura 50 Toma de peso final de muestra 1 de 100 TM - Embalaje	65
Figura 51 Toma de peso final de muestra 2 de 100 TM - Embalaje	66
Figura 52 Toma de peso final de muestra 1 de 150 TM - Embalaje	66
Figura 53 Toma de peso final de muestra 2 de 150 TM - Embalaje	66

Índice de ecuaciones

Fórmula 1: Porcentaje de biodegradación	37
Fórmula 2: Porcentaje de eficiencia	37
Fórmula 3: Consumo de poliestireno expandido	37

RESUMEN

Los residuos de poliestireno expandido vienen a ser una gran problemática en la actualidad, debido a que es muy complejo su degradación natural, lo cual dura mucho tiempo generando un impacto grave sobre el medio ambiente, incluyendo en la salud de los seres humanos según estudios realizados. En el presente trabajo de investigación presentado para tesis se ejecutó con el fin de demostrar cuán significativa viene a ser la degradación de este material utilizando el gusano *Tenebrio molitor*. Siendo una forma natural y nueva de estudiar la utilización de seres biológicos para una correcta biodegradación. Esta tesis se presentó de tipo experimental ya que hubo una intervención del investigador y se realizó un estudio en tiempo real de la biodegradación del poliestireno expandido utilizando la especie *Tenebrio molitor*. Se utilizó como población y muestra el tipo de poliestireno expandido según su espesor, peso y dimensiones; en este caso se utilizaron: vasos de 2 mm y residuos de embalaje de 18 mm. Se trabajó con la técnica de observación durante el proceso de degradación del poliestireno expandido. Se realizó dos corridas por la cantidad de 100 gusanos y dos corridas por la cantidad 150 gusanos; en cada tipo de poliestireno elegido según su espesor. La prueba se realizó en un periodo de 29 días teniendo como resultados un óptimo % de degradación en el embalaje de 18 mm con la cantidad de 100 gusanos; y en el vaso de 2 mm se obtuvo un óptimo % de degradación con la cantidad de 100 gusanos, aunque no hay mucha diferencia con la cantidad de 150 gusanos. Dando como conclusión que la especie *Tenebrio molitor* sí degrada el poliestireno expandido.

Palabras claves: *Tenebrio molitor*, Poliestireno Expandido, Biodegradación.

ABSTRACT

The waste of expanded polystyrene is a big problem nowadays, because its natural degradation is very complex, which lasts for a long time generating a serious impact on the environment, including the health of human beings according to studies carried out. In the present research work presented for thesis was executed to demonstrate how significant is the degradation of this material using the *Tenebrio molitor* worm. Being a natural and new way to study the use of biological beings for a correct biodegradation. This thesis was presented as an experimental type since there was an intervention of the researcher and a real time study of the biodegradation of expanded polystyrene using the *Tenebrio molitor* species. The type of expanded polystyrene was used as population and sample according to its thickness, weight, and dimensions; in this case, 2 mm cups and 18 mm packaging waste were used. We worked with the observation technique during the degradation process of expanded polystyrene. Two runs were performed for the amount of 100 worms and two runs for the amount of 150 worms: in each type of polystyrene chosen according to its thickness. The test was carried out in a period of 29 days having as results an optimum % of degradation in the packaging of 18 mm with the quantity of 100 worms; and in the glass of 2 mm an optimum % of degradation was obtained with the quantity of 100 worms, although there is not much difference with the quantity of 150 worms. The conclusion is that the species *Tenebrio molitor* does degrade expanded polystyrene.

Keywords: *Tenebrio molitor*, Expanded Polystyrene, Biodegradation.

INTRODUCCIÓN

El poliestireno es un material que tarda una cantidad mayor de 500 años para que este pueda degradarse, y altera (alterar) físicamente cuerpos de agua superficiales, también es encontrado alterando el medio terrestre. La descomposición de este material es un proceso muy lento que pasa a su monómero que es el estireno, al ocurrir este proceso último puede llegar a volatilizarse encontrándose en el aire que nosotros respiramos afectando al ser humano, al suelo, y a los productos vegetales que consumimos, incluso al recurso hídrico y también a los animales marinos, los cuales nosotros consumimos. Se estima que por lo menos un 90 % del estireno que ha sido encontrado en los glóbulos rojos de las personas, llega mediante esa vía indirecta ya mencionada. Hoy en día en la región de Arequipa se ve un preocupante incremento de residuos de poliestireno que se amontonan en grandes cantidades en zonas vulnerables y que puedan correr riesgos porque estos pueden ir a parar al mar, playas de la región, torrenteras y rellenos sanitarios o botaderos que tiene la ciudad de Arequipa.

El presente trabajo de investigación trata de la biodegradación del poliestireno expandido usando la especie *Tenebrio molitor* capaz de poder usar como alimento la espuma del poliestireno con la finalidad de poder degradar y reducir la cantidad de este material que abunda en la ciudad de Arequipa y que está provocando daños al medio ambiente, también se altera el medio donde habitan normalmente especies en las costas de nuestra región al igual que las aves, debido que los animales de las zonas ingieren este material por confusión lo cual ocasionan su muerte. También este material tiene consecuencias sobre la salud humana por que el estireno aparece en la lista de posibles agentes que desarrollan el cáncer en las personas identificado en un programa de toxicología realizado en estados perteneciente al departamento de salud. Este producto se ve relacionado a otras enfermedades como es caso de la leucemia y linfomas en personas que están expuestas a estas sustancias por una inadecuada utilización de protección y prevención.

La espuma de poliestireno es usada mayormente en construcción y embalaje, para hacer envases de bebida y comida, también es usado para la protección de artefactos u objetos frágiles por lo que su uso es en grandes cantidades debido al consumismo que aborda el mundo entero y está incrementando en nuestra ciudad. El Tecnopor además de ser contaminante, se usa de forma innecesaria. Por ejemplo, los televisores vienen en cajas grandes con mucho poliestireno y este se usa solo una vez, se podría buscar alternativas como el empleo de cartón u otras posibles y efectivas alternativas; y así ya dejar de lado

este problema actual del Tecnopor en el mundo; se debería adoptar otros métodos de conservación y protección de artefactos que no sea el poliestireno expandido el cual es muy empleado por la industria.

Al emplear este método de degradación de un tipo de plástico utilizando seres vivos pequeños, como en esta investigación se está utilizando un coleóptero, es un método más efectivo ambientalmente hablando. Este proceso es muy favorable para el medio ambiente puesto que ataca directamente contra el poliestireno y los residuos que se obtienen se pueden emplear como posibles fertilizantes.

El contenido de la presente investigación se distribuye en cinco capítulos, de la siguiente manera:

El capítulo I, trata del planteamiento del problema, formulación del problema, objetivos e hipótesis del tema de investigación, así como su operacionalización de variables.

El capítulo II, explica los antecedentes y sus bases teóricas de la investigación.

El capítulo III, se refiere a la metodología empleada para obtener los resultados de la investigación con sus herramientas a utilizarse, materiales, su área de estudio y procedimientos.

En el capítulo IV, Da la presentación de resultados obtenidos, la prueba de la hipótesis de la investigación; la discusión de los resultados, concluyendo así con la investigación con sus respectivas conclusiones, recomendaciones dadas según la investigación realizada y por último se adjuntaron los anexos de la investigación.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. Planteamiento y formulación del problema

A nivel mundial se ha visto que el aumento de la generación de residuos del poliestireno expandido genera un impacto negativo en el medio ambiente y la diversidad biológica. El aumento en este tipo de residuo, debido al consumismo mundial desencadenado por las industrias comerciales en general, dan como resultado la mala calidad del aire en ciertas zonas del mundo, Se tiene conocimiento que aproximadamente el 90% de la civilización en todo el mundo están ubicados en zonas que no llegan a cumplir con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) aire presentadas por la Organización Mundial de la Salud (OMS). Como se sabe al tener una mala calidad de aire, conlleva a incrementar efectos negativos en la salud de las personas presentes en la zona. Tocando el tema de los efectos negativos en el ambiente, uno de ellos sería el calentamiento global debido a los gases que son emitido por los residuos expuesto a las condiciones ambientales. Esto se debe a la mala disposición final de estos. Según Jenny Lizette Arthuz Lopez menciona que “Los registros mundiales de emisiones de gases de efecto invernadero indican que el proceso de producción de residuos es el autor del 4% de las emisiones antropogénicas mundialmente. Lo que equivale a 2.000 millones de toneladas de CO₂/año en emisiones a la atmósfera.” (ARTHUZ LOPEZ, y otros, 2019)

En la ciudad de Arequipa, como se ha visto en los últimos años, estado creciendo la población esto implica una mayor demanda de servicios, entre ellos está la zona comercial lo que consiste en centros comerciales grandes que se han construido en la ciudad, restaurantes y cafeterías para así cumplir con las demandas de la población. Esta zona comercial implica un uso indiscriminado de materiales hechos de plástico, dentro de estos aparecen en gran porcentaje el poliestireno expandido, se ha comprobado que material es sumamente tóxico y perjudicial para el medio ambiente por ende afecta tanto directamente como indirectamente, en cuerpos de agua debido que los residuos de este material llegan a terminar al mar después de ser desechados en torrenteras, también en el suelo porque este material está hecho de compuestos que pueden llegar a ser perjudiciales para el suelo afectando especialmente el pH del suelo, también afecta el aire por que el poliestireno expandido al ser expuesto a la radiación solar que hay en la ciudad de Arequipa, esta expulsa diferentes gases dañinos para la capa de ozono. Como se sabe el poliestireno expandido tarda en degradarse unos 500 años aproximados, este tiempo de degradación es una cantidad muy grande considerada perjudicial para el medio ambiente.

1.1.1. Problema general

¿Cómo se realizará la biodegradación del poliestireno expandido mediante el uso del *Tenebrio molitor* (gusano de harina)?

1.1.2. Problemas específicos

- ¿Cómo se determinará el espesor, peso y dimensión del poliestireno expandido que se va a utilizar?
- ¿Cómo se vio afectado la tasa de crecimiento y tamaño del *Tenebrio molitor* (gusano de harina), durante el proceso de biodegradación?
- ¿Cómo se va a determinar el consumo del poliestireno por parte del *Tenebrio molitor* (gusano de harina)?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Analizar la biodegradación del poliestireno expandido mediante el uso del *Tenebrio molitor* (gusano de harina).

1.2.2. Objetivos específicos

- Determinar el espesor, peso y dimensión del poliestireno expandido que se va a utilizar.
- Determinar el efecto de la tasa de crecimiento y tamaño del *Tenebrio molitor* (gusano de harina), en el proceso de biodegradación.
- Determinar el consumo de poliestireno expandido por parte del *Tenebrio molitor* (gusano de harina).

1.3. Justificación e importancia

Arequipa está creciendo como ciudad y el principal problema es la generación de residuos de poliestireno expandido que es muy usado en la industria comercial. El poliestireno es un producto muy tóxico, también dañino para el medio ambiente y el ser humano, este poliestireno como se sabe dura en degradarse más de 500 años, este residuo está llegando a las costas del nuestro litoral, se está viendo que hay acumulación de poliestireno en las diferentes playas afectando a la biodiversidad existente en nuestro país.

Se utilizó el Coleóptero *Tenebrio molitor* larvae para poder degradar el poliestireno en la región de Arequipa, de tal manera que no contamine al medio ambiente y afecte la flora y fauna.

El proceso de minimización de los residuos de poliestireno expandido sería una acción a favor de todas las personas y la ciudad en general como al medio ambiente. La producción barata de envases y productos compuestos del tecnopor, incentiva a un incremento del consumismo a nivel mundial; esto trae consecuencias negativas en contra del medio ambiente. Como se sabe según un estudio monitoreado realizado en los océanos se dio como respuesta al desecho de un promedio de 8 millones de toneladas de residuos que fueron generados en las grandes ciudades del mundo por día, dentro de este resultado se comprobó que un 63.5% de lo desechado son productos de plástico.

Esta investigación beneficiará en primer lugar a la población minimizando el impacto negativo que genera el poliestireno expandido y también a los encargados de la recolección de residuos generados en grandes centros comerciales como se puede ver que están apareciendo en las ciudades del Perú, puesto que no saben aún cómo procesar o qué función darle a los residuos de poliestireno expandido, entonces esta investigación sería muy útil puesto que esta especie que se está utilizando expulsa el poliestireno expandido como un material ya degradable y se vería una reducción en el impacto que genera este tipo de residuo.

El gusano puede llegar a ser económicamente accesible si se llega a hacer un criadero artificial y temporal. Eso puede conllevar a reducir los gastos en adquirir la cantidad necesaria de este gusano para hacer la evaluación de degradación, para así poder utilizar la cantidad necesaria sin requerir en la compra de estas páginas de ventas de esta especie de coleóptero.

1.4. Hipótesis

Ho: El *Tenebrio molitor* no influye de manera significativa en la biodegradación del poliestireno expandido.

Ha: El *Tenebrio molitor* influye de manera significativa en la biodegradación del poliestireno expandido.

1.5. Operacionalización de variables

Tabla 1 Operacionalización de las variables

	Variables	Dimensiones	Indicadores	Unidades
Independiente	<i>Tenebrio molitor</i> (gusano de harina)	Características del <i>Tenebrio molitor</i>	• Tasa de crecimiento del <i>Tenebrio</i>	semanas
			• Tamaño del <i>Tenebrio</i>	cm
			• Consumo de poliestireno por semana	g
			• Espesor del poliestireno	mm
			• Peso del poliestireno	Gramos
Dependiente	poliestireno expandido	Características físicas del poliestireno	• Porcentaje de biodegradabilidad.	%
			• Porcentaje de eficiencia	
			• Dimensiones del poliestireno expandido	mm

Fuente: *Elaboración propia*

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

a) Antecedentes internacionales

Según Hernández & Pérez el 2015 en el artículo científico titulado “Bacterias hidrocarburo clásticas biodegradantes del poliestireno Expandido” Se tuvo como objetivo el utilizar diferentes géneros bacterianos que mediante diferentes procedimientos en laboratorio, comprobar la efectividad de degradación del poliestireno por parte de estas bacterias. Las muestras que se utilizaron fueron de suelo y agua que, con presencia de hidrocarburos en sus estructuras, luego estas fueron a laboratorio donde se les hizo diferentes pruebas ya sean químicas y bioquímicas para saber la identificación de esas bacterias. Se pudo identificar diferentes géneros de bacterias en las muestras de suelo y agua antes mencionadas como son los siguientes: *Vibrio*, *Comamonas*, *Pseudomonas*, *Aeromona* y *Shewanella*, los cuales se procedieron a ser aislados. Las bacterias que fueron aisladas presentaron una efectividad en la degradación del tecnopor previamente tratado en laboratorio. (HERNANDEZ RIVERA, y otros, 2015)

Según Castiglia & Kuhar el 2015 en el artículo científico titulado “Deterioration of expanded polystyrene caused by *Aureobasidium pullulans* var. *Melanogenum*.” se tuvo como objetivo demostrar mediante la aparición de un hongo el cual tendría propiedades especiales como para degradar el poliestireno, este hongo fue encontrado en una fábrica en la cual se reportó que la producción de poliestireno estaba siendo afectada dado que este material es difícil de degradar naturalmente. Se utilizó una muestra de este microorganismo para un estudio de caracterización, donde se demostró que este hongo produce enzimas hidrolíticas y un polisacárido extracelular biodegradable conocido como Pululano, el cual es utilizado para la fabricación de envases para alimentos y medicinas. Se demostró que este tipo de hongo es resistente a diferentes pH, pero cuando se les expone a temperaturas elevadas a 65° C este no sobrevive. Se demostró que este tipo de hongo efectivamente deteriora el poliestireno y lo deja como un material degradable. (CASTIGLIA, y otros, 2015)

Según Leydy Ardila & Mayerly Castañeda el 2010 en la investigación titulada “Implementación de un proceso que utilice el poliestireno post-consumo contenido en residuos sólidos, para obtener aglomerados a partir de emulsiones de poliestireno”. En la cual para enfrentar la grave problemática que puede generar el residuo del poliestireno en el medio ambiente se les da una utilidad diferente a estos residuos después de ser utilizados, empleándolos para la generación de mezcla xileno-agua-tensioactivo. Para realizar esta evaluación los autores emplearon frascos de vidrio en los cuales se pudo observar claramente los diferentes procesos y reacciones. “Para lo cual el autor realizó una serie de pruebas como de la dureza, la compresión y de impacto; utilizó ciertos materiales como fueron la lecitina de soya y residuos de poliestireno para poder encontrar una mezcla resistente y óptima. Los resultados fueron observados mediante el microscopio para así poder apreciar la distribución uniforme con los componentes de la emulsión. El trabajo llega como conclusión que utilizar el poliestireno para esta investigación es esencial para así obtener una mezcla adecuada y con las características requerida, debido a que este material tiene una función de estabilizador para la mezcla”. (ARDILA PINTO, y otros, 2010)

Según Jenny Arthuz el 2019 con el tema de investigación “Análisis del proceso de reciclaje del poliestireno expandido de arreglos florales fúnebres con el solvente D-limoneno con relación a la sostenibilidad ambiental.” En la presente investigación se tiene como principal autor el poliestireno (EPS) el cual hoy en día se están buscando nuevos métodos de todo tipo para tratar los residuos de EPS y así minimizar el impacto que este genera. El cual tiene como objetivo “analizar el proceso de reciclaje del poliestireno expandido de arreglos florales fúnebres utilizando el solvente d-limoneno con relación a la sostenibilidad ambiental, en un periodo de doce meses.” Se concluye que al utilizar el solvente verde d-limoneno es viable para la reducción de los residuos de poliestireno los cuales llegan a ser perjudiciales para la salud de las personas y el medio ambiente. Este método se puede emplear para atacar la gran problemática presente en los rellenos sanitarios de este tipo de residuos de EPS. Según el autor este método es viablemente económico como para la construcción de un prototipo de una zona de tratamiento utilizando este solvente, para reducir la cantidad de residuos de este tipo. (ARTHUZ LOPEZ, 2019)

Según Angie Paola Sarmiento el 2018 en el trabajo de investigación titulado “Establecimiento e implementación de un protocolo de cría de gusano de harina *Tenebrio molitor* (Coleóptera: tenebrionidae), como apoyo al programa de conservación de la rana venenosa dorada *Phyllobates terribilis* (Anura: Dendrobatidae) en el bioparque Wakatá, parque Jaime Duque.” El cual tiene como objetivo “poner en efecto un sistema de cría y producción del Gusano *Tenebrio molitor*, como opción primordial para la alimentación de una especie de rana venenosa dorada *Phyllobates terribilis*.” Dando como resultado de las pruebas que realizó el autor, que se tienen que establecer y mantener ciertos factores ambientales en el criadero de estos gusanos, como son la temperatura que oscila entre los 28°C, la humedad la cual debe estar en un 40% aproximado. También el autor estableció como tiempo de producción un tiempo de 5 meses y medio dando así una cantidad de 3 raciones semanales con 20 gusanos el cual con estas raciones la rana mantuvo un peso adecuado. Finalmente, la investigación concluye que el utilizar y realizar la crianza de este gusano de harina con su nombre científico *Tenebrio molitor* en el Bioterio del Bioparque Wakatá garantiza el perdurable acceso de alimento para la rana mencionada. (SARMIENTO, 2018)

Según Leonardo Argueta & Glenda Ramos el 2013 en trabajo de investigación titulado “Contenido de proteína, grasa, calcio, fósforo en larvas del escarabajo molinero (*Coleóptera: tenebrionidae: Tenebrio molitor* L.) alimentadas con diferentes sustratos y fuentes de agua; para ser utilizadas como alimentación de animales silvestres.” El cual tuvo como objetivo el evaluar cómo se podría aumentar la cantidad de proteínas presentes en los gusanos de *Tenebrio molitor*, ya sea en la alimentación como en la hidratación, esto ubicado en el Parque Zoológico Nacional de El Salvador. Los métodos que se emplearon para obtener los resultados fueron el método Kjeldahl el cual determinó la cantidad de proteínas, el método de Soxhlet indicando la cantidad de grasa, el método de precipitación para indicar la cantidad de fósforo y el método fotométrico para la cantidad de calcio presente. El autor dio como conclusión que tan importante con que se les alimenta a estos gusanos debido que al darles afrecho y papa dan unos valores tanto en grasa, fosforo y calcio. La segunda opción de alimentación con buenos valores proteicos fue con arroz y zanahoria. Entonces el estudio determina que los valores proteicos de estos gusanos dependen de su alimentación, esto se realizaría según a que animal se quiera alimentar y con qué cantidades de proteínas requiere que se le alimente. (ARGUETA REYES, y otros, 2013)

Según Saida Arana el 2018 en la tesis titulada “Manejo en cautiverio de *Tenebrio molitor* (coleóptera tenebrionidae) usando cinco tipos de harina” el cual tuvo como objetivo conocer cada etapa del ciclo biológico del *Tenebrio molitor* bajo condiciones en cautiverio y alimentado con cinco tipos diferentes de harina, tales como: Soya, ramón, arroz, maíz y trigo, en un laboratorio y así poder recibir información para su manejo. El cual para optimizar la etapa de cría se utilizó una incubadora cuando la temperatura bajaba de los 28° C, se realizaron métodos de cría los cuales fueron de Argueta-Reyes et al. (2013) y Soto (s/a). Para obtener muestras de esta especie se empleó del tamizado, manipulando tul blanco por los cuales las larvas no pasaron por este y se devolvieron al contenedor original. El autor dio como conclusión en esta investigación la importancia de la temperatura que está involucrado directamente con los ciclos biológicos de esta especie, y no solo la temperatura también el tipo de harina por el cual fueron alimentados estos gusanos presentando cambios en su tonalidad de color del exoesqueleto y peso. Existen desventajas por el tamaño del gusano. Entonces el estudio determina las adecuadas condiciones para una correcta crianza de este tipo de gusano ya sea controlando ciertos parámetros evaluados. (ARANA ESCALANTE, 2018)

b) Antecedentes nacionales

Según Miguel Velasco el 2017 en la tesis titulada “Biodegradación del polietileno de baja densidad, mediante el uso del lepidóptero *Gallería mellonella* bajo condiciones térmicas controladas en el 2017” tiene como objetivo mostrar el nivel de biodegradabilidad del poliestireno de baja densidad manipulando este tipo de especie lepidóptero con el medio ambiental óptimo para su desarrollo. la muestra fue realizada mediante el uso de bolsas plásticas una cantidad aproximada de 20 unidades de este material, las cuales fueron dispuestas a diferentes temperaturas de entre 20 a 40°C. Este estudio fue de tipo de investigación aplicada porque se realizó la aplicación de todos los conceptos, con el fin de satisfacer a las personas en la reducción de este material. Se determinó una degradación positiva utilizando esta especie de lepidóptero en este tipo de polietileno, observándose también que esta especie no puede estar expuesto a iluminación porque empieza a haber una inquietud en su comportamiento el cual reduce la capacidad de degradabilidad de la especie. (VELASCO URDIALES, 2017)

Según Chunga & Cieza el 2017 en la tesis titulada “Biodegradación del poliestireno utilizando microorganismos presentes en el humus de la lombriz durante los meses, octubre – diciembre 2016” tuvo como objetivo aprobar la efectividad del nivel de biodegradabilidad del poliestireno procediendo al uso de microorganismos que están contenidos en Humus que son obtenidos de la lombriz. Las muestras que se emplearon fueron del material de tecnopor que es un plástico difícil de degradar. La muestra de humus contiene tipos de género de bacterias como son: el *Bacillus spp* y *clostridium spp*. Se procedió a colocar las presentes muestras de tecnopor en contenedores con el humus procedente de la lombriz, el procedimiento consiste en incluir el tecnopor en diferentes profundidades del humus y también consiste en el estudio de varios días. Este estudio tuvo un tipo en la investigación aplicada en virtud se realizó la aplicación de los conceptos elaborados, haciéndose un estudio de control sobre la efectividad del estudio. Se determinó que este proceso de degradación es efectivo en una cantidad de días, determinándose también la efectividad de degradación de estas bacterias que están contenidas en el humus obtenido de la lombriz. (CHUNGA CAMPOS, y otros, 2017)

Según Franco Portocarrero Estrada el 2021 en su Trabajo de suficiencia profesional titulado “Biodegradación de poliestireno con *Tenebrio molitor* para la sostenibilidad de empresas.” El autor se planteó como objetivo “discutir el proceso de biodegradación de plástico realizado por las larvas de *Tenebrio molitor* que puede servir de base científica para la creación de una propuesta de implementación de manejo responsable de residuos de poliestireno, como parte de los servicios de una empresa consultora en sostenibilidad.” El autor utilizó la especie de gusano, estudiando diferentes puntos como las condiciones aptas en las que estos se pueden desarrollar correctamente. Encontrándose uno de los puntos negativo el que se coman entre ellos. El punto de realizar este tipo de degradación para los residuos de las empresas es debido a que es viablemente económico, más en estos tiempos de pandemia donde toman más importancia la salud de las personas y dejan un poco de lado la gestión ambiental. El autor concluyó en la investigación que la efectividad de la degradación de este plástico utilizando al gusano lo cual ayudaría implementar en las empresas así ayudando su gestión correcta de residuos de este tipo, cumpliendo así los objetivos del ODS 3,6 y 12. (PORTOCARRERO ESTRADA, 2021)

Según Peter Daviran Yance el 2017 en su tesis titulada “Biodegradación de la Espuma de poliestireno por la larva del *Tenebrio molitor* para la producción de Abono, 2017” El cual el autor tuvo como objetivo “evaluar en qué medida la biodegradación de la espuma de poliestireno por la larva de *Tenebrio molitor* favorece a la producción de abono.” A través del cual se utilizó el gusano de harina el cual tiene ciertas características interesantes dentro de su organismo, por ende, esta especie puede llegar a consumir el tecnopor normalmente sin que afecte en su organismo, expulsando finalmente como residuo un material degradable incluso con ciertas características favorables que pueden llegar a ser utilizados como fertilizante para plantas. Los resultados permitieron determinar que las excretas obtenidos de estos gusanos, realmente tienen algunas propiedades efectivas aptas para que sean utilizadas como fertilizantes en las plantas. El autor indica que hablando de la eficiencia de la biodegradación esta es baja por lo que no son correctas para que esto sea realizado a gran escala. Llegando como conclusión que el tratamiento EPS D40-8 días viene a ser el mejor el cual da una excreta de 0.1635 g lo cual da como resultado que la cantidad de excreta depende de la densidad del residuo y el tiempo en el que se realiza la biodegradación. (DAVIRAN YANCE, 2017)

Según Marjorie Chavesta & Ariana Guerra el 2019 en su tema de investigación titulado “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.” Plantea como objetivo “evaluar el aprovechamiento de las condiciones alimentarias del gorgojo negro común (*Tenebrio molitor*) para la biodegradación del poliestireno de los residuos sólidos domiciliarios de la planicie,2019.” En esta investigación se utilizaron materiales simples, los cuales no presentan un costo mayor; el cual resulta viablemente económico para su evaluación ayudando en la reducción de la generación de residuos plásticos como el poliestireno expandido. También se estudió y determinó el ciclo de vida de este gorgojo, para así poder determinar qué etapa de este organismo se utilizará y por cuánto tiempo para la investigación. Dando como resultado la confirmación de que el gorgojo utilizado en la investigación sí posee características especiales las cuales permiten que este pueda consumir el material sintético que es el poliestireno expandido y este no afecte en la salud de este organismo. Este consumió entre un 80% y 86% en el tiempo de 28 días. (CHAVESTA SAAVEDRA, y otros, 2019)

Según Ana María Vascones Portilla el 2021 en la tesis titulada “Impactos ambientales producidos por el uso de poliestireno expandido (Tecnopor) en la industria de la construcción de Trujillo, 2020.” La cual la investigación la metodología con un enfoque cuantitativo de tipo aplicada debido a que se realizara una búsqueda de cosas aprendidas las cuales fueron comparados con la problemática actual. Dando como resultado un 52% generan un impacto significativo en el medio ambiente y el porcentaje se eleva a un 55% debido a que se utiliza el poliestireno expandido este en el sector de construcción civil. Finalmente, el autor da como conclusión que “el material de poliestireno expandido genera diferentes impactos ambientales como la generación de gases y alteración de hábitats naturales, estos llegando a ser confundidos por los animales como alimento terminando en la muerte de estos. En esta investigación más están enfocando el poliestireno en la industria de la construcción, con un $Rho = 0.990$ el cual es un grado elevado de correlación y positiva, el R^2 determinó que un 99% de alteración en los impactos ambientales es debido al uso del poliestireno expandido en el sector de construcción.” (VASCONES PORTILLA, 2021)

c) Antecedentes regionales y locales

Según Daniela Ramo Lazo el 2021 en su tesis titulada “Producción y valorización nutricional de harina de larva de *Tenebrio molitor* como fuente proteica no tradicional para su uso en la alimentación animal.” Tuvo como objetivo “producir harina de larva de *Tenebrio molitor*, para su evaluación nutricional, como sustituto proteico, para su uso en la alimentación animal.” Donde el autor armó un criadero de gusanos para que los gusanos de harina tengan un adecuado lugar donde sobrevivir y crecer para cumplir con el objetivo establecido. El autor realizó el proceso de producción de harina de gusanos con la última fase de adultos de esta especie, esto debido a que al ser adultos los gusanos presentan propiedades nutricionales elevados a comparación de la etapa en la que los gusanos son aún muy pequeños. Donde se pudo concluir que si se puede realizar la crianza de esta especie de gusanos en condiciones que se pueden manejar y que realmente el valor proteico y nutricional de esta especie de gusanos es buena. (RAMOS LAZO, 2021)

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Poliestireno:

Según Ardila & Castañeda indica que este material que tiene como simbología PS es considerado como un polímero lineal, debido a este tipo de material es muy comercializado hoy en día, muy utilizado para diversas funciones y por eso no tiene forma definida. Como se da en casi todos los polímeros, poliestireno es concernientemente inerte a un proceso químico. Este material es muy fuerte ante los álcalis, también a los haluros de ácido que se obtiene al sustituir el grupo hidroxilo por un halógeno, a los agentes oxidantes y reductores. El poliestireno puede transformarse cuando se da temperaturas altas en una combinación de compuestos que no tienen un alto peso molecular, dándose un aproximado de que la mitad de esos son estireno. El posible olor que caracteriza cuando hay un monómero es utilizado para poder saber si es un polímero. El poliestireno expandido puede ser fácil que sea atacado por diferentes disolventes. Al ser expuesto a medio atmosférico este material cambia y no resiste; este material cuando es presentado al medio ambiente cambia a un color amarillo y hasta llega a cuartearse. (ARDILA PINTO, y otros, 2010)

Según Franco Portocarrero el poliestireno viene a ser uno de los cinco termoplásticos más utilizados, se emplea por lo general para el envasado y para aislamiento de productos en general. Este material se encuentra entre los plásticos menos sostenibles del mundo. Este producto es de baja densidad y voluminosas, y ahí está el problema puesto que tienen un grado mayor de dificultad para reciclar y degradar. En el pasado y hoy en día aun en las plantas de reciclaje, se ve que aún no ingresan este material debido a su complejo tratamiento y escaso reciclaje. Por esta razón los residuos de este material son botados en botaderos o desechados en torrenteras los cuales están permanentemente en esos lugares expuestos al ambiente y generando impactos negativos al medio ambiente. (PORTOCARRERO ESTRADA, 2021)

2.2.2. Poliestireno expandido

Según Ardila & Castañeda indica que es conocido de diferentes nombres en diferentes países así tenemos nombres como: “icopor”, “corcho blanco”, “poliespan” o “porexpan”. Dado que este material derivado del plástico, tiene algo que lo puedan reconocer rápidamente y ese es el color característico que es el blanco, está elaborado especialmente de hidrógeno hasta un 98% y tiene varias formas en las que son utilizados como uno es

la construcción como aislante térmico en temporadas de frío y acústico en lugares de estudio como bibliotecas y también como un material de aligeramiento de estructuras distintas; también este material es utilizado en lo que es el envasado y embalado de diversos productos y mercancías, este material tiene una gran cantidad de diversos usos como son la utilización de este material en los cascos de motociclistas y ciclistas, así también como para la realización de envases en los que se pueden trasladar comida, muestras de laboratorio e incluso para el transporte de órganos en el caso de los hospitales, debido que este material es un conservante muy eficaz. (ARDILA PINTO, y otros, 2010)

Según Daviran & Peter indican que el poliestireno expandido proviene de la destilación de hidrocarburos como el petróleo, este viene a ser un material inflexible en la asimilación del agua y también microorganismos. Este es un objeto plástico celular y duro los cuales son producidos de las perlas ya expandidas de poliestireno expandible. Estas tienen una característica celular cerrada y luego son llenadas de aire. (DAVIRAN YANCE, 2017)

2.2.3. Gusano *Tenebrio molitor*

Según Leonard Reyes & Glenda Meléndez indica que el gusano *Tenebrio molitor* es un insecto del orden coleóptero proveniente de la familia tenebrionidae, estos insectos son de color castaño oscuro, tienen un largo de 18 mm y de ancho un aproximado de 4 mm. En su cuerpo presenta bordes casi paralelos. Estos gusanos son muy parecidos a los gusanos alambre; debido a que tienen esa forma cilíndrica, resistentes y con pequeñas patitas. Estos gusanos en particular su alimentación está basado de harina y subproductos de granos, también cuero y carne deshidratada en trozos. Este tipo de insectos son grandes en volumen y estos llegan a ser un problema para los granos almacenados. (ARGUETA REYES, y otros, 2013)

Según Daniela Ramos Lazo indica que el gusano *Tenebrio molitor* es una de las especies que más se utiliza más que todo por su fácil crianza ya sea en granjas de insectos, estos son utilizados principalmente para la alimentación de los demás animales debido a su alto contenido proteico. Este gusano es considerado una plaga de magnitud menor especialmente para las personas que se dedican a la comercialización de granos, harinas y otros alimentos almacenados debido a este tipo de gusanos se alimenta de estos. (RAMOS LAZO, 2021)



Figura 1 Conglomerado de gusanos *Tenebrio molitor*

Fuente: Recuperado de Internet

2.2.4. Ciclo biológico del *Tenebrio molitor*:

Esta especie presenta los siguientes ciclos:

Huevo:

Según Daniela Ramos indica que este insecto puede poner alrededor de 500 huevos, los cuales para que lleguen a eclosionar tienen que estar a ciertas condiciones de temperatura, estos llegan a eclosionar entre los 4 días a 6 días según las condiciones térmicas en las que estas se encuentren. Al momento de que el huevo es depositado tiene que pasar entre 1 a 4 semanas para que eclosione la larva. (RAMOS LAZO, 2021)

Según Angie Sarmiento indica que el tiempo de este ciclo son de unos 10 días, estos cambian de tonalidad de color según pasen los días, como el primer día que son translúcidos. (SARMIENTO, 2018)

Larva

Según Daniela Ramos indica que en esta parte del ciclo este mayormente es utilizado como alimento vivo, especialmente cuando este llega a tener un tamaño mayor. Estas larvas al salir del huevo son de una tonalidad blanquecina con un largo de 3 mm, que al pasar los días adoptan una tonalidad amarillenta. Una larva adulta llega a tener un largo de 25 a 35 mm. Este ciclo de larva dura entre 10 a 12 semanas como máximo, en el cual este llega a mudar su exoesqueleto unas 11 a 20 veces aproximadamente. (RAMOS LAZO, 2021)

Según Angie Sarmiento indica que este ciclo de la larva dura entre 2 a 3 meses, el cual crece hasta cierto punto de madurez, el cual durante este crecimiento muda varias veces de piel. (SARMIENTO, 2018) En la evaluación se midió los gusanos antes del proceso de degradación.

Pupa o ninfa

Según Daniela Ramos indica que en esta parte del ciclo la larva cambia a un color blanco denso, este se convierte en un insecto el cual no posee boca ni ano y solo da ciertos movimientos con las patas. Esta parte del ciclo tiene una duración aproximada de 2 a 3 semanas, finalizando en la transformación del cuerpo a un adulto. Se corroboró que este no tiene las mismas propiedades nutricionales como las larvas. (RAMOS LAZO, 2021)

Según Angie Sarmiento indica que esta parte del ciclo tiene una duración de aproximado 20 días, tiene una forma triangular curvilíneo, que está prácticamente inmóvil. (SARMIENTO, 2018)

Adulto

Según Daniela Ramos indica que después del ciclo de la pupa esta forma un exoesqueleto blanduzco al inicio, luego este se va tornando fuerte, a medida que esto ocurre el color del cuerpo va oscureciendo hasta finalmente llegar al color negro, este tiene seis patas también presenta alas, pero este no puede volar. Después de 2 semanas este insecto puede llegar a la etapa de reproducción. El escarabajo *Tenebrio molitor* adulto vivirá de dos a tres meses. (RAMOS LAZO, 2021)

Según Angie Sarmiento indica que el adulto viene a ser un escarabajo negro el cual se desenvuelve mejor en la noche, este está sexualmente apto para reproducirse a los diez a doce días. Este completa su ciclo de vida en aproximado unos cinco meses. (SARMIENTO, 2018)



Figura 2 *Diferentes etapas de crecimiento del Tenebrio molitor*

Fuente: *Recuperado de Internet*

2.2.5. Ecología del *Tenebrio molitor*

Según Angie Sarmiento indica que las temperaturas que pondrían en peligro la supervivencia de esta especie son menores a -12°C y mayor a 41°C . Que sobreviva una cierta cantidad de esta especie tiene que ser bajo ciertas condiciones controladas. Esta especie evita la luz en cualquiera de sus etapas del ciclo biológico, se sienten más tranquilos y se desarrollan con normalidad en ambientes oscuros. Las condiciones aptas para que esta especie pueda desarrollarse con normalidad es entre las temperaturas de 22°C A 28°C . (SARMIENTO, 2018)

Según Daniela Ramos esta especie se desarrolla adecuadamente a una temperatura de 25°C a 27°C . El ciclo de reproducción llega a mejorar óptimamente cuando la temperatura crece. Presentan fotofobia por lo cual es mejor evitar iluminación alguna en la zona de desarrollo de esta especie. Estos se desarrollan óptimamente en un ambiente el cual preste un porcentaje de humedad de 40%. (RAMOS LAZO, 2021)

2.2.6. Biodegradación

Según Leydy Ardila & Mayerly Castañeda definen la biodegradación como la descomposición mediante la presencia de microorganismos, donde se da que el material pueda reducirse en su composición a algo más simple. Que tiene el fin para poder participar en el reuso de diversos nutrientes o también hablando de la disminución de factores que están afectando la naturaleza, especialmente por presencia del humano. (ARDILA PINTO, y otros, 2010)

Según Peter Daviran indica que la biodegradación es la minimización biológicamente catalítica de objetos con propiedades ya sea en su estructura y su composición química compleja. (DAVIRAN YANCE, 2017)

2.3. Definición de términos básicos

- a) Poliestireno: “El poliestireno es un plástico versátil usado para fabricar una amplia variedad de productos de consumo. Dado que es un plástico duro y sólido, se usa frecuentemente en productos que requieren transparencia, tales como envases de alimentos y equipos de laboratorio. Cuando se combina con varios colorantes, aditivos y otros plásticos, el poliestireno se usa para hacer electrodomésticos, electrónicos, repuestos automotrices, juguetes, macetas y equipamiento para jardines, entre otros.” (CSF, 2016)
- b) Poliestireno expandido: “Es un material plástico espumado utilizado en el sector de la construcción, principalmente como aislamiento térmico y acústico, en el campo del envase y embalaje para diferentes sectores de actividad y en una serie de aplicaciones diversas.” (ANAPE, 2013)
- c) Gusano *Tenebrio molitor*: “El *Tenebrio molitor* o gusano de la harina es un insecto perteneciente a la orden coleóptera, conocido por ser destinado a la alimentación de animales exóticos y también, para entomófaga. La Agencia para la Seguridad Alimentaria (EFSA) aprobó el pasado 13 de enero de 2021, por primera vez la producción y comercialización del gusano de la harina *Tenebrio molitor* como alimento seguro para el consumo humano.” (PROTEINSECTA, 2021)
- d) Biodegradación: “Es la biodegradación es la disolución química de los materiales por bacterias u otros medios biológicos. El término se utiliza a menudo en relación con la ecología, la gestión de residuos, la biomedicina y el medio ambiente; actualmente asociados con los productos respetuosos del medio ambiente que tienen las propiedades de poder descomponerse nuevamente dentro de los elementos naturales.” (CENEM, 2019)
- e) Contaminación: “La contaminación es un cambio perjudicial en las características físicas, químicas o biológicas del aire, la tierra o el agua, que puede generar un impacto mayor en la vida humana o la de especies beneficiosas, los procesos industriales, las condiciones de vida del ser humano y puede malgastar y deteriorar los recursos naturales renovables.” (ATILIO DE LA ORDEN, 1852)

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

3.1. Método y alcance de la investigación

3.1.1. Método general

Según César A. Bernal menciona que “el método hipotético-deductivo consiste en un procedimiento que parte de unas aseveraciones en calidad de hipótesis y busca refutar o falsear tales hipótesis, deduciendo de ellas conclusiones que deben confrontarse con los hechos.” El método de la presente investigación fue hipotético-deductivo porque se buscó contradecir o afirmar lo que expresaba la hipótesis planteada en esta investigación, que fue si el gusano no influye o si influye en la degradación del poliestireno, para que luego con los conocimientos ya obtenidos se dedujo una posible conclusión que puede que vaya contra de los hechos; y esta a su vez fue comprobado con los resultados obtenidos al final de esta investigación. (A. BERNAL, 2010)

3.1.2. Tipo de investigación

La investigación presente fue de tipo experimental, ya que hubo una intervención del investigador sobre el objeto de estudio, debido que se hizo un análisis en tiempo real de la biodegradación del poliestireno expandido mediante el uso del gusano *Tenebrio molitor*. Se generó un campo manual donde se realizaron las pruebas de seguimiento del proceso de biodegradación.

3.1.3. Nivel de investigación

El nivel de investigación es explicativo, puesto que este correspondía a un análisis de causalidad, donde se explica de qué manera la variable independiente (*Tenebrio molitor* (gusano de harina)) influye en la variable dependiente (poliestireno expandido). Se vio la biodegradación del poliestireno expandido mediante el uso de la especie *Tenebrio molitor*.

3.2. Diseño de la investigación

El diseño de la investigación es experimental verdadero, porque si hubo un control de la variable dependiente (poliestireno expandido) con diferentes cantidades del gusano *Tenebrio molitor* (variable independiente), dándose un control de pesos del poliestireno expandido en laboratorio.

3.3. Población y muestra

Población

En la presente investigación se manejó como población el poliestireno expandido de espesor de 2 mm y 18 mm, En un tiempo de estudio de 29 días.

Muestra

La muestra fue el poliestireno expandido de espesor de 2 mm y 18 mm, con su peso de 1.999 g y 3.859 g según espesor de este. El peso como se pudo ver varía en cada muestra. Con una cantidad de 8 corridas en 2 bloques, el orden de los experimentos ha sido completamente aleatorizado. El área de trabajo se instaló en el cuarto de una casa en el distrito de Paucarpata en la ciudad de Arequipa.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.4.1. Técnicas e instrumentos

3.4.1.1. Técnicas de la investigación

La técnica de investigación que se utilizó fue la técnica de observación mediante la cual se ha visualizado la gran problemática generada por las grandes cantidades de poliestireno que en la ciudad se genera y desecha, y ver la problemática que es muy grande debido a que este es un producto que no se degrada fácilmente y demora muchos años para que eso pase. También se empleó esta técnica de observación durante el proceso de degradación del poliestireno expandido mediante el uso de la especie *Tenebrio molitor*.

3.4.1.2. Instrumentos de la investigación

Técnica de observación, sería una observación no estructurada utilizándose como instrumento una cámara para obtener fotografías.

3.4.2. Área de estudio

El área de estudio tomo lugar en la misma ciudad de Arequipa, específicamente en la calle Jirón Victoria #107 Manuel Prado del distrito de Paucarpata, donde se desocupó una habitación en el primer piso como se puede ver en la figura 03; en ese lugar se realizó el proceso de degradación.

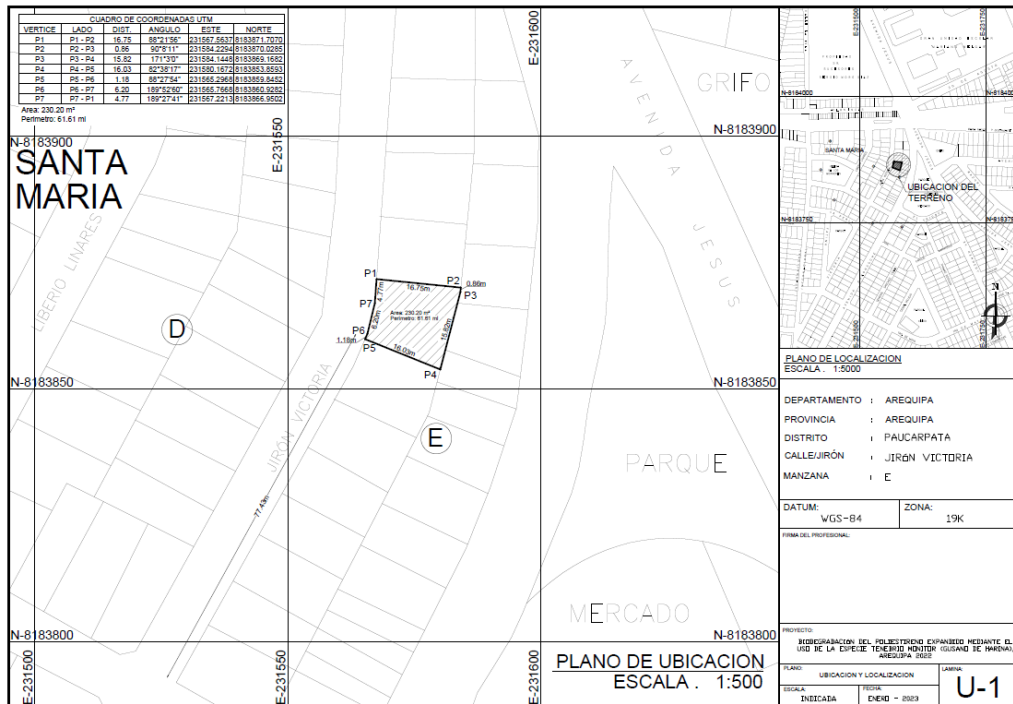


Figura 3 Área de estudio donde se realizó la degradación

Fuente: Elaboración propia

En la figura 04 se puede observar el otro lugar de estudio el cual fue el laboratorio de la Universidad Nacional de San Agustín (UNSA) área de Biología, donde se realizó el pesaje de las muestras de poliestireno expandido.

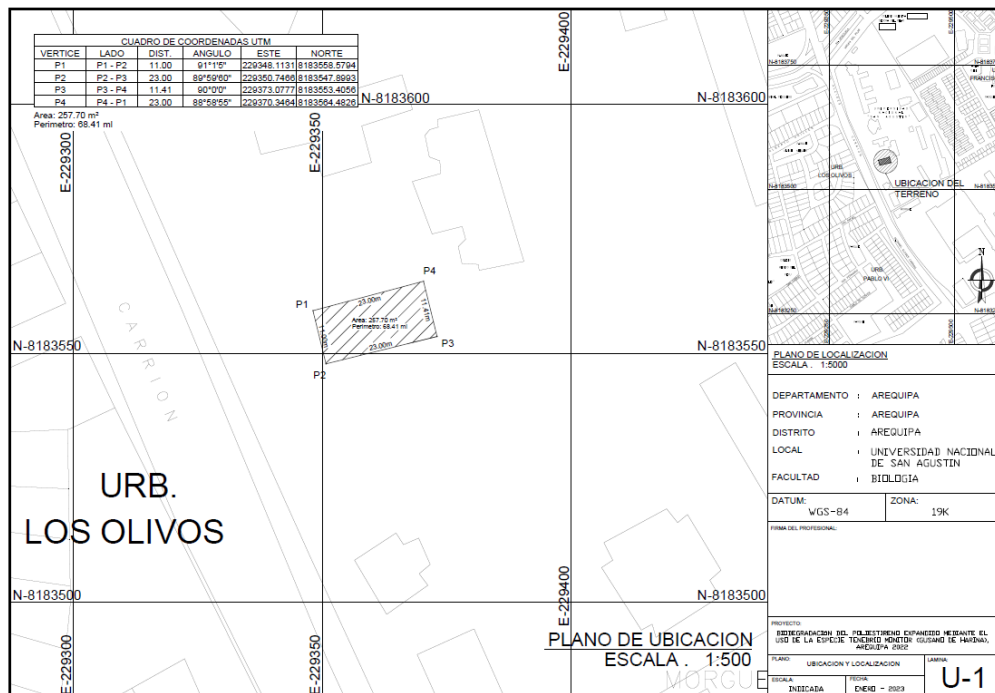


Figura 4 Lugar de laboratorios de Biología de la UNSA

Fuente: Elaboración propia

3.4.3. Materiales

3.4.3.1. Material de vidrio

Peceras de vidrio rectangulares: los cuales se utilizaron para contener a los gusanos durante el proceso de degradación mediante el uso de la especie *Tenebrio molitor*. En esta investigación se utilizaron las siguientes dimensiones: altura 30 cm, ancho 20 cm y largo 30 cm.

3.4.3.2. Material biológico

Especie *Tenebrio molitor*: es un gusano de la especie coleóptero, fundamental para el proceso de biodegradación en la presente investigación.

3.4.3.3. Otros materiales

Poliestireno expandido: conocido como tecnopor el cual fue el producto utilizado a degradar en la presente investigación, según el tipo y dimensiones escogidas.

3.4.3.4. Materiales de equipo

Balanza analítica: Equipo para comprobar la efectividad de degradabilidad, comprobando la diferencia de los pesos ya sea al inicio y al final del proceso.

3.4.4. Procedimientos

Determinar el espesor, peso y dimensión del poliestireno expandido que se va a utilizar.

Etapa de Pre-campo

Paso 1: Se recolectó el poliestireno a utilizar para el proceso de degradación de la presente investigación. Existen variedades de este material ya sean por uso, peso, dimensiones, espesor, etc.

Paso 2: Se determinó el espesor del poliestireno, con el objetivo que estos sean diferentes. En este caso fue uno de 2 mm que fue el vaso y otro de 18 mm que fue el residuo de embalaje.

Paso 3: Se realizó la medición para obtener las dimensiones de cada muestra y se registró cada medida en un cuadro, dividiendo esto por el tipo que se seleccionó.

Paso 4: Con la ayuda de una balanza analítica de laboratorio se anotó el peso inicial de cada muestra a utilizar teniendo así las 8 corridas que se analizaron en la presente investigación.

Determinar el efecto de la tasa de crecimiento y tamaño del *Tenebrio molitor* (gusano de harina), en el proceso de biodegradación.

Etapa de campo

Paso 1: Se evaluó según la supervivencia y resistencia de la especie *Tenebrio molitor*, si este se realizaría en un laboratorio o si esta evaluación se podría desarrollar y controlar desde una casa. En este caso se realizó en una casa donde se procedió a hacer la investigación.

Paso 2: Se realizó la adquisición de los gusanos *Tenebrio molitor* por internet a “Kuru Wasi” el cual se encarga de la venta de alimentos vivos en general, esta distribuidora es de la ciudad de Lima. Este distribuidor no especificó en qué etapa de ciclo están los gusanos, por ende, durante el proceso de degradación estos cambiaron de fases en diferentes momentos.

Paso 3: Se implementó 8 peceras rectangulares de vidrio, que fue donde se colocaron los gusanos utilizando las siguientes dimensiones:

- Altura de 30 cm
- Ancho de 20 cm.
- Largo de 20 cm.

Paso 4: Se realizó una distribución de cuatro peceras con 100 gusanos y cuatro peceras con 150 gusanos para realizar el proceso de degradación del poliestireno.

Paso 5: Se realizó un control mediante la observación y tomas fotográficas de los gusanos, durante los 29 días que tomo la presente investigación.

Paso 6: Se determinó el efecto en la tasa de crecimiento y tamaño del *Tenebrio molitor* durante todo el tiempo de evaluación.

Paso 7: Se registró las pruebas fotográficas para corroborar el efecto en la tasa de crecimiento durante la investigación.

_Determinar el consumo de poliestireno expandido por parte del *Tenebrio molitor* (gusano de harina)

Etapa de experimentación

Paso 1: En el área de trabajo donde ya se tenía correctamente separados los envases con los gusanos, se agregó en cada envase las muestras de poliestireno expandido por separado según sus dimensiones, espesor y peso, ya elegidas antes.

Paso 2: Se rotuló cada depósito de vidrio con una cinta masking con la información necesaria para saber diferenciarlas, ya sea la cantidad de gusanos y pesos del poliestireno.

Paso 3: Se dejó el poliestireno con los gusanos en los depósitos de vidrio por un periodo de 29 días.

Paso 4: Se anotaron y tomaron pruebas fotográficas en cada momento del avance de la degradación del poliestireno expandido mediante el uso del gusano *Tenebrio molitor*.

Paso 5: Una vez pasados los 29 días de evaluación, se extrajo las muestras del poliestireno expandido ya degradados por el gusano. Se colocaron en un empaque para trasladarlas al laboratorio.

Paso 6: Al terminar el proceso de degradación se extrajeron los gusanos sobrantes, ya que había varios que avanzaron en su ciclo biológico; había varios que ya estaban en el ciclo de pupa y otros en el ciclo de escarabajo negro. Estos se utilizaron para alimento vivo para gallos de pelea.

Etapa de gabinete

Paso 7: Con los resultados de laboratorio se obtuvo el peso final del poliestireno expandido. Los cuales se evaluaron con el peso inicial, utilizando unas fórmulas para poder determinar el consumo efectivo del poliestireno expandido mediante el uso del gusano *Tenebrio molitor*.

Paso 8: Se utilizaron algunas fórmulas para poder obtener un valor con los resultados obtenidos para así poder analizar el proceso de degradación de la presente investigación.

Fueron los siguientes:

Fórmula para el porcentaje de biodegradación

$$\left(\frac{P_o - P_f}{P_o}\right) * 100$$

Formula 1: *Porcentaje de biodegradación*

Fórmula para el porcentaje de eficiencia del consumo de poliestireno expandido:

$$\frac{\text{consumo EPS}}{\text{Peso inicial}} * 100$$

Formula 2: *Porcentaje de eficiencia*

Fórmula para el consumo de poliestireno expandido:

$$\text{Peso inicial} - \text{Peso final}$$

Formula 3: *Consumo de Poliestireno Expandido*

CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Presentación de resultados

4.1.1. Determinar el espesor, peso y dimensión del poliestireno expandido que se va a utilizar

El espesor del poliestireno expandido que se utilizó fue de 2 mm (vasos de poliestireno) y de 18 mm (restos de embalaje de poliestireno). El peso inicial de cada muestra se obtuvo en el laboratorio empleando una balanza analítica; con las 8 repeticiones se obtuvo lo siguiente: el de espesor de 2 mm su peso inicial está entre los 1.999 g y los 1.900 g, el de espesor de 18 mm su peso inicial está entre los 3.859 g y los 3.397 g como se puede ver en la tabla 02.

Tabla 2 *Determinación de peso y espesor del poliestireno expandido*

Tipo de EPS	Espesor	Repetición	Peso inicial EPS (g.)
Vaso	2 mm	1	1.918
		2	1.904
		1	1.999
		2	1.900
Embalaje	18 mm	1	3.397
		2	3.400
		1	3.606
		2	3.859

Fuente: *Elaboración propia*

Las dimensiones de cada muestra fueron por el tipo de poliestireno que se utilizó. En el vaso se obtuvo una altura de 9.3 cm, diámetro de la parte superior o cabeza fue de 7.3 cm y finalmente el diámetro de la base del vaso fue de 4.8 cm. En el residuo de embalaje de poliestireno se realizó la medición igual de cada muestra, teniendo como largo 12 cm y de ancho 13 cm. Como se presenta en la tabla 03.

Tabla 3 Dimensiones de cada tipo de poliestireno expandido utilizados en la investigación

Tipo de EPS	Dimensiones		
	Altura	Diámetro Cabeza	Diámetro Base
Vaso	9.3 cm	7.3 cm	4.8 cm

Embalaje	Dimensiones	
	Largo	Ancho
	12 cm	13 cm

Fuente: Elaboración propia

4.1.2. Determinar el efecto de la tasa de crecimiento y tamaño del *Tenebrio molitor* (gusano de harina), en el proceso de biodegradación

Se pudo apreciar que el crecimiento en sus etapas y el tamaño de la especie *Tenebrio molitor* (gusano de harina) no se vio afectado, siguió de forma normal, a pesar de que la única dieta de esta especie durante el proceso de investigación fue el poliestireno expandido. Una vez terminada la etapa de evaluación se les agregó alimento para que puedan seguir sin el poliestireno extraído. Durante la evaluación se pudo apreciar que algunos gusanos cambiaron de fase antes que otros, llegando algunos incluso a la fase de escarabajo antes que otros, esto debido a que no había un control en la tienda que se compró, ya que solo los venden como alimento vivo.

En la figura 05, se puede apreciar la medida de los gusanos recibidos al inicio de la investigación. La medida promedio que tuvieron los gusanos fueron de 2.5 cm de largo. Siendo estas ya larvas adultas.



Figura 5 Medición del gusano *Tenebrio molitor*

Fuente: Elaboración propia

En las figuras 06, 07 y 08 se puede observar que no hubo un efecto negativo en el ciclo de crecimiento del gusano *Tenebrio molitor*, ya que el ciclo siguió de la fase de larva hasta la última fase de escarabajo adulto.



Figura 6 Gusanos *Tenebrio molitor* fase de larva adulta

Fuente: *Elaboración propia*



Figura 7 *Tenebrio molitor* en la fase de pupa

Fuente: *Elaboración propia*



Figura 8 *Tenebrio molitor* en la fase de escarabajo

Fuente: *Elaboración propia*

4.1.3. Determinar el consumo del poliestireno expandido por parte del *Tenebrio molitor* (gusano de harina)

En la tabla 04, se pudo observar cómo se determinó el consumo del poliestireno expandido, se puede apreciar el tipo de poliestireno con sus respectivos espesores que son de 2 mm y de 18 mm, así como el número de repeticiones por muestra, la cantidad de gusanos que se emplearon que son 100 y 150. El tiempo de duración de la presente evaluación que fueron los 29 días exactos, así como los pesos iniciales y finales con los cuales se determinó el consumo del poliestireno, dándose un promedio óptimo de 0.123 g en el EPS de espesor de 18 mm. En el caso del EPS de 2 mm se vio un promedio de consumo óptimo de 0.048 g con la cantidad de 100 gusanos. Dando a entender que a menor cantidad de gusano empleados se dio un mayor consumo del poliestireno expandido.

En la tabla 04 también se pudo observar el porcentaje de degradabilidad del poliestireno expandido. Dando un porcentaje de degradabilidad óptimo de 2.711 % con un espesor de 2 mm y con la cantidad de 100 gusanos. En el caso del poliestireno de 18 mm de espesor se dio un porcentaje de degradabilidad óptimo de 3.605 % con la cantidad de 100 gusanos. El cual fue el resultado más efectivo de la investigación a comparación de los resultados obtenidos donde se emplearon 150 gusanos. Por último, se obtuvo el porcentaje de eficiencia donde se puede apreciar que se obtuvo un porcentaje promedio de eficiencia de 3.604 % en el poliestireno de 18 mm de espesor con la cantidad de 100 gusanos.

Tabla 4 Resultados obtenidos del proceso de degradación

Tipo de EPS	Espesor	Repetición	Cantidad de Gusanos (UND)	Tiempo de evaluación (Días)	Peso inicial EPS (g.)	Promedio Po (g.)	Peso Final EPS (g.)	Promedio Pf (g.)	Consumo de EPS (g.)	Promedio consumo (g.)	Degradabilidad (%)	Promedio Degradabilidad (%)	Eficiencia (%)	Promedio Eficiencia (%)
VASO	2 MM	1	100	29	1.918	1.911	1.866	1.863	0.052	0.048	2.711	2.538	2.711	2.537
		2			1.904		1.859		0.045		2.363		2.363	
		1	150		1.999	1.944	0.055	2.751	2.751					
		2			1.900	1.870	0.030	1.579	1.579					
EMBALAJE	18 MM	1	100		3.397	3.399	3.283	3.276	0.114	0.123	3.356	3.605	3.356	3.604
		2			3.400	3.269	0.131	3.853	3.853					
		1	150		3.606	3.550	0.056	1.553	1.553					
		2			3.859	3.766	0.093	2.410	2.410					

Fuente: Elaboración propia

4.2. Prueba de hipótesis

Prueba de análisis de varianza

En la tabla 04, se pudo observar la tabla ANOVA la cual divide la variabilidad de degradación en piezas separadas para cada uno de los efectos. Entonces prueba la significancia estadística de cada efecto comparando su cuadrado medio contra un estimado error experimental. En este caso, 0 efectos tienen un valor-P menor que 0.05, indicando que son significativamente diferentes de cero con un nivel de confianza de 95.0%. El estadístico R-cuadrada indica que el modelo, así ajustado, explica un 72.5077% de la variabilidad en degradación. El estadístico R-cuadrada ajustada, que es más adecuado para comparar modelos con diferente número de variables independientes, es de 35.8513%. El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 0.635715. El error medio absoluto (MAE) de 0.356125 es el valor promedio de los residuos. El estadístico de Durbin-Watson (DW) prueba los residuos para determinar si haya alguna correlación significativa basada en el orden en que se presentan los datos en el archivo. Puesto que el valor-P es mayor que 5.0%, no hay indicación de auto correlación serial en los residuos con un nivel de significancia del 5.0%. Esto indicaría que el espesor y cantidad de gusanos como factores planteados no tienen un efecto significativo en la variable respuesta.

Tabla 5 *Análisis de varianza para degradación*

ANOVA					
Fuente	Suma de cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: Espesor EPS	0.379756	1	0.379756	0.94	0.4039
B: Cantidad gusanos	2.01503	1	2.01503	4.99	0.1117
AB	0.798216	1	0.798216	1.98	0.2546
Bloques	0.00456013	1	0.00456013	0.01	0.9221
Error total	1.2124	3	0.404133		
Total (corr.)	4.40996	7			

Fuente: *Elaboración propia*

Representación gráfica

En la figura 05, se pudo observar una representación visual de la interacción entre el espesor del poliestireno expandido y el porcentaje de degradación. Donde se pudo ver que no hubo ninguna interacción entre ellos. Pero se puede ver en esa figura que tan efectivo viene a ser la degradación más para la cantidad de 100 gusanos *Tenebrio molitor*, en ambos espesores presentados en la investigación.

Por ende, se puede apreciar que hay mayor porcentaje de degradación en el espesor de 18 mm con una cantidad de 100 *Tenebrio molitor*. Es el resultado más óptimo que se pudo apreciar en la gráfica. Se puede observar que sí existe una degradación del poliestireno expandido por parte del gusano *Tenebrio molitor*.

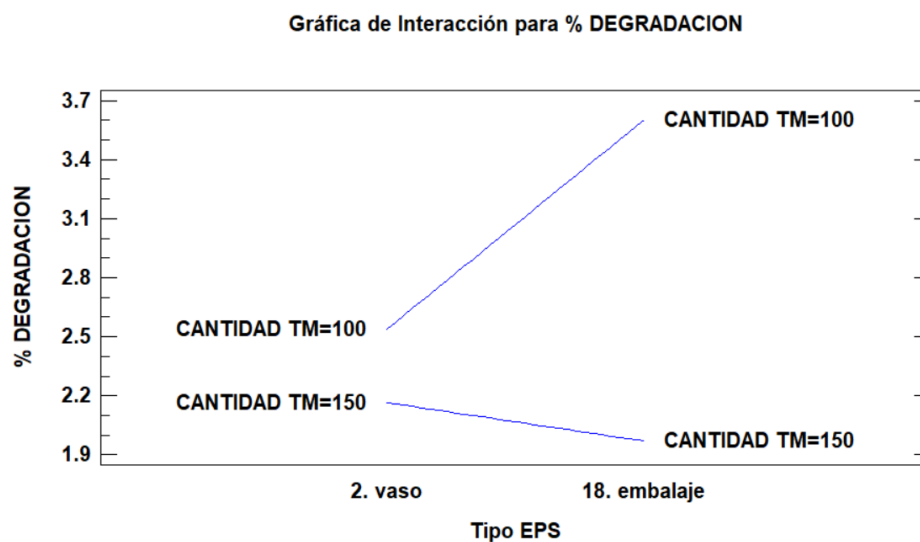


Figura 9 Grafica de interacción para el % degradación

Fuente: Extraído de STATGRAPHICS

En la figura 06, se observa un mayor porcentaje de degradación en la cantidad de 100 gusanos *Tenebrio molitor* y en el caso del embalaje de 18 mm de espesor tiene mayor porcentaje de degradación según la gráfica obtenida con los resultados obtenidos de laboratorio. Esta gráfica explica de manera concreta los resultados obtenidos de la investigación.

Gráfica de Efectos Principales para % DEGRADACION

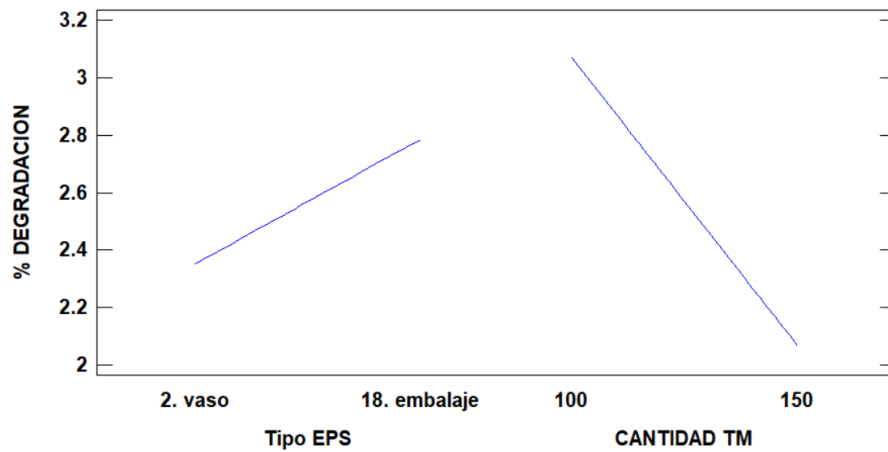


Figura 10 Grafica de efectos principales para el % degradación

Fuente: Extraído de STATGRAPHICS

En la figura 07, podemos inferir que hay mayor significancia en el porcentaje de degradación de poliestireno expandido mediante la cantidad de 100 gusano *Tenebrio molitor* y de espesor de 18 mm. Es la parte más elevada que se puede apreciar en la gráfica.

Superficie de Respuesta Estimada

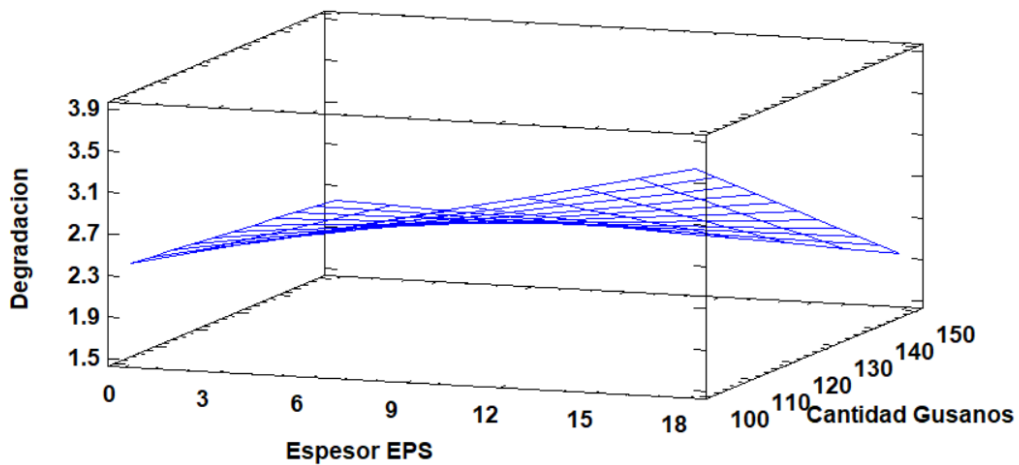


Figura 11 Superficie de respuesta estimada

Fuente: Extraído de STATGRAPHICS

4.3. Discusión de resultados

Los resultados obtenidos en esta investigación muestran que es más efectivo el uso menor de gusanos *Tenebrio molitor*, dándose una efectiva degradación en el poliestireno expandido de 18 mm de espesor, que fue el residuo de embalaje. Se tiene que evaluar el motivo por el cual se dio este resultado ya que en esta investigación no se usó ningún tipo de factor como la temperatura, humedad, etc. En cambio, según la investigación titulada “Biodegradación del polietileno de baja densidad, mediante el uso del lepidóptero *Galleria mellonella* bajo condiciones térmicas controladas en el 2017” (VELASCO URDIALES, 2017), que consideró como principal objetivo la temperatura controlada sobre esa especie de gusano para degradar el polietileno de baja densidad, dando como resultado que a una temperatura de 25° C hay una eficiente biodegradación del polietileno de baja densidad dando un valor de 17.21%. El cual comprobó que a una temperatura de 35°C la degradación bajo en este material ya que el porcentaje bajó a 5.64%. A diferencia de la presente investigación donde no se tomó la temperatura como principal factor ya que se realizó a temperatura ambiente.

En el trabajo de investigación “Biodegradación de la Espuma de Poliestireno por la larva del *Tenebrio molitor* para la producción de Abono,2017.” (DAVIRAN YANCE, 2017). En esta investigación se tomaron diferentes factores como fueron la humedad, el canibalismo entre esta especie y las condiciones ambientales en sí, se llegó a analizar más la calidad de los excrementos del gusano *Tenebrio molitor* para utilizar este como abono, a comparación de la presente investigación la cual confirma que esta especie puede degradar el poliestireno expandido. En la investigación de Daviran se consideró la investigación por días, por ejemplo, hizo un análisis en 4 días y otro en 8 días, analizando la cantidad que consume el gusano y la cantidad de excremento que este produce en esos tiempos determinados. A comparación de la presente investigación que solo se presentó una diferencia de pesos inicial y final, en un total de 29 días. Dando como conclusión que a mayores días hay mayor consumo de poliestireno expandido. Daviran indica en su investigación que la especie tiene una eficiencia del 12 por ciento de consumo de poliestireno en 8 días, 2,60% para la producción de excreta con el tratamiento de Poliestireno por 8 días y la pérdida de biomasa fue de 2,84 por ciento para el tratamiento por 4 días. Los cuales indicaron que tienen una baja eficiencia lo cual indica que no son aceptables para llevarse a gran escala.

En el trabajo de investigación titulada “Biodegradación del poliestireno con *Tenebrio molitor* para la sostenibilidad de empresas” (PORTOCARRERO ESTRADA, 2021), dio como resultado que al cumplirse los 60 días en el proceso de degradación, observó que hubo una mayor degradación en el poliestireno expandido a diferencia del polietileno de baja densidad, ya que el investigador realizó una prueba utilizando ambos materiales con la misma cantidad de gusanos y el mismo tiempo; también en la investigación presentada tuvo un enfoque más detallado y cuidadoso en la dieta, así como en los parámetros de temperatura y humedad, para un adecuado desarrollo del gusano *Tenebrio molitor*. También el investigador realizó el estudio de todo el ciclo biológico del gusano desde que es una larva hasta que llega a la fase de escarabajo. A diferencia de la presente investigación donde solos se buscó la degradación del poliestireno expandido según su espesor y tipo, como las cantidades de gusanos empleados. Dándose esta degradación a temperatura ambiente con una dieta de la cual solo era el poliestireno expandido. También esta investigación solo tuvo lugar a los 29 días teniendo como resultado que a menor cantidad de gusanos se da una mejor degradación.

CONCLUSIONES

- El primer espesor seleccionado fue de 2 mm con un peso de 1.999 g con las dimensiones de: altura 9.3 cm, diámetro cabeza 7.3 cm y diámetro base 4.8 cm; el segundo espesor seleccionado fue de 18 mm con un peso de 3.859 g con las dimensiones de: largo 12 cm y ancho 13 cm.
- La tasa de crecimiento del *Tenebrio molitor* no tuvo alteraciones durante el tiempo estimado de la investigación, actuando con total normalidad desde la fase de larva hasta la fase de escarabajo y el tamaño de la larva osciló entre los 2.5 cm de largo.
- El consumo del poliestireno expandido por parte del *Tenebrio molitor* fue de 0.123 g en el espesor de 18 mm, se utilizó 100 gusanos, y el consumo con el espesor de 2 mm fue de 0.048 g en 100 gusanos utilizados; por lo tanto, el poliestireno de 18 mm empleados en 100 gusanos presenta una biodegradación eficiente.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar el análisis de degradación en un laboratorio para así agregar el control de otros factores como son la humedad, la temperatura y la tasa de mortalidad del *Tenebrio molitor*, para así tener mayor eficiencia en la degradación del poliestireno expandido utilizando esta especie de gusano.
- Se recomienda realizar una mayor investigación acerca de la especie *Tenebrio molitor*, especialmente en el área de Biología, ya que ellos pueden extraer la encima que contiene su sistema digestivo el cual permite degradar con facilidad un material plástico como el poliestireno expandido. Así puedan utilizar en masa esta encima y evaluar si se diera una degradación más rápida.
- Se recomienda realizar nuevas investigaciones acerca de la especie *Tenebrio molitor* ya que no se encuentra información precisa y amplia acerca de esta especie. Así como su función en el medio biológico como escarabajo, para así saber que se puede hacer con esta especie cuando está en su fase de escarabajo.
- Realizar un estudio de caracterización por zonas en la ciudad de Arequipa para saber la cantidad de residuos de poliestireno expandido y generado en la ciudad, en qué sectores y dónde son desechados estos o dónde se encuentran residuos de este material a lo largo de la ciudad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A. BERNAL, CESAR. 2010. *Metodología de la investigación.* [ed.] Orlando Fernandez Palma. Tercera ed. Bogota : PEARSON EDUCACIÓN, 2010. ISBN.

ANAPE. 2013. Asociación Nacional de Poliestireno Expandido. [En línea] 2013. <http://www.anape.es/index.php?accion=producto>.

ARANA ESCALANTE, SAIDA GIANELA. 2018. *Manejo en cautiverio de Tenebrio molitor (Coleoptero Tenebrionidae) usando cinco tipos de harina.* Universidad de Quintana Roo. Quintana Roo : s.n., 2018. Tesis.

ARDILA PINTO, LEYDI KATHERINE y CASTAÑEDA RINCON, MAYERLY ADRIANA. 2010. *Implementación de un proceso que utilice el poliestireno post-consumo contenido en residuos sólidos, para obtener aglomerados a partir de emulsiones de poliestireno.* Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga : s.n., 2010. Tesis.

ARGUETA REYES, LEONARDO y RAMOS MELENDEZ, GLENDA KARINA. 2013. *Contenido de Proteína, grasa, calcio, Fósforo en larvas del Escarabajo molinero (Coleoptera: Tenebrionidae: Tenebrio molitor L.) alimentadas con diferentes sustratos y fuentes de agua; para ser utilizadas como alimentacion de animales silvestres.* San Salvador : s.n., 2013. Tesis.

ARTHUZ LOPEZ, JENNY LIZETTE. 2019. *Análisis del proceso de reciclaje del poliestireno expandido de arreglos fúnebres con el solvente D-limoneno con relación a la sostenibilidad ambiental.* Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá : s.n., 2019. Tesis.

ARTHUZ LOPEZ, JENNY LIZETTE, GARCIA UBAQUE, CESAR AUGUSTO y PEREZ MORA, WALTER HERNANDO. 2019. *Análisis del proceso de reciclaje del poliestireno expandido de arreglos florales fúnebres con el solvente D-limoneno con relación a la sostenibilidad ambiental.* Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá : s.n., 2019. Tesis.

ATILIO DE LA ORDEN, EDUARDO. 1852. *Contaminacion.* Área Ecología, Universidad Nacional de Catamarca. Catamarca : Editorial Científica Universitaria, 1852. pág. 34, Serie didáctica. ISSN: 1852 - 3013.

CASTIGLIA, VALERIA C. y KUCHAR, FRANCISCO. 2015. *Deterioration of expanded polystyrene caused by Aureobasidium pullulans var. melanogenum.* Buenos Aires : Revista Argentina de Microbiología, 2015.

CENEM. 2019. BIOPOLCOM CHILE. [En línea] Julio de 2019. <https://biopolcom.cl/index.php/2019/07/19/que-es-la-biodegradacion/>.

CHAVESTA SAAVEDRA, MARJORIE FIORELLA y GUERRA PEREZ, ARIANA RAQUEL. 2019. *Aprovechamiento de las condiciones alimentarias de gorgojo negro común (Tenebrio molitor) para la biodegradación del poliestireno en los residuos sólidos domiciliarios de la planicie, 2019.* Universidad Peruana Unión. Tarapoto : s.n., 2019.

CHUNGA CAMPOS, LOURDES DEL ROSARIO y CIEZA MARTINEZ, CARLOS AARON. 2017. *Biodegradación de poliestireno utilizando microorganismos presentes en el Humus de lombriz durante los meses, octubre - diciembre 2016.* Universidad de Lambayeque. Chiclayo : s.n., 2017. Tesis.

CSF. 2016. ChemicalSafetyFacts.org. [En línea] 17 de Junio de 2016.

DAVIRAN YANCE, PETER ALBERT. 2017. *Biodegradación de la Espuma de Poliestireno por la larva del Tenebrio molitor para la producción de Abono, 2017.* Universidad César Vallejo. Lima : s.n., 2017. Tesis.

HERNANDEZ RIVERA, SILVESTRE AUGUSTO, MARTINEZ GANDARA, JOSE y PEREZ ORTIGOZA, LAURA BERENICE. 2015. *Bacterias hidrocarbonoclasticas biodegradantes de Poliestireno expandido.* Xalapa : Foresta Veracruzana, 2015.

PORTOCARRERO ESTRADA, FRANCO RODRIGO. 2021. *Biodegradación de poliestireno con Tenebrio molitor para la sostenibilidad de empresas.* Universidad Peruana Cayetano Heredia. Lima : s.n., 2021. Trabajo de suficiencia profesional.

PROTEINSECTA. 2021. Proteinsecta. [En línea] 2021. <https://proteinsecta.es/tenebrio-molitor-gusano-de-la-harina/>.

RAMOS LAZO, DANIELA INDIRA. 2021. *Producción y valorización nutricional de harina de larva de Tenebrio molitor como fuente proteica no tradicional para su uso en la alimentación animal.* Universidad Católica de Santa María. Arequipa : s.n., 2021. Tesis.


SARMIENTO, ANGIE PAOLA. 2018. *Establecimiento e implementación de un protocolo de cría de gusano de harina Tenebrio molitor (Coleoptera: Tenebrionidae), como apoyo al programa de conservación de la rana venenosa dorada Phyllobates terribilis (Anura: Dendrobatidae) en el bioparque Waka.* Universidad Nacional Abierta y a distancia "UNAD". Zipaquirá : s.n., 2018. Tesis.

VASCONES PORTILLA, ANA MARIA. 2021. *Impactos ambientales producidos por el uso de poliestireno expandido (Tecnopor) en la industria de la construcción de Trujillo, 2020.* Universidad César Vallejo. Trujillo : s.n., 2021. Tesis.

VELASCO URDIALES, MIGUEL JESUS. 2017. *Biodegradación del polietileno de baja densidad, mediante el uso del lepidóptero Galleria mellonella bajo condiciones térmicas controladas en el 2017.* Universidad César Vallejo. Lima : s.n., 2017. Tesis.

ANEXOS

ANEXO 1: INSTRUMENTO UTILIZADO PARA EVALUACION DE BIODEGRADACION

	"BIODEGRADACIÓN DEL POLIESTIRENO EXPANDIDO MEDIANTE EL USO DE LA ESPECIE <i>Tenebrio molitor</i> (GUSANO DE HARINA), AREQUIPA-2022".
	FORMATO DE FICHA DE OBSERVACIÓN

DATOS PERSONALES	
NOMBRES Y APELLIDOS	Marvín Steve Valladolid Medina
UBICACIÓN	Arequipa -Peru
E-MAIL	marvin97steve.valladolid@gmail.com
FIRMA	

TIPO	REPETICION	<i>Tenebrio Molitor</i>	POLIESTIRENO EXPANDIDO EPS							
		CANTIDAD (UND)	ESPESOR MM	TIEMPO (Dias)	PESO INICIAL EPS	FECHA Po	PESO FINAL EPS	FECHA Pf		
VASO EPS	1	100	2	29	1.918	5/10/2022	1.866	2/11/2022		
	2				1.904		1.859			
	1	150			1.999		1.944			
	2				1.900		1.870			
EMBALAJE EPS	1	100	18		3.397		5/10/2022		3.283	2/11/2022
	2				3.400				3.269	
	1	150			3.606				3.550	
	2				3.859				3.766	

FIRMA APROBACIÓN

Figura 12 Instrumento de observación de diferencia de pesos

Fuente: Elaboración Propia

ANEXO 2: PRUEBAS FOTOGRAFICAS EN GENERAL

A) Compra de gusanos *Tenebrio molitor* a Kuru Wasi



Figura 13 Caja de pedido de gusanos *Tenebrio molitor*

Fuente: *Elaboración Propia*



Figura 14 Caja de gusanos mostrados por Kuru Wasi

Fuente: *Elaboración Propia*

B) Instalacion del lugar donde se efectuara la Degradacion y demarcaciones por cantidades



Figura 15 *Instalación de peceras separadas por cantidades de gusanos*

Fuente: *Elaboración Propia*



Figura 16 *Instalación de peceras con los gusanos*

Fuente: *Elaboración Propia*

C) Instrumento utilizado en laboratorio para la analizar la diferencia de pesos



Figura 17 *Balanza analítica de laboratorio*

Fuente: *Elaboración Propia*

D) Análisis del Peso inicial en laboratorio por muestra



Figura 18 Muestra 1 de 100 TM - Vaso

Fuente: *Elaboración Propia*



Figura 19 Muestra 2 de 100 TM - Vaso

Fuente: *Elaboración Propia*



Figura 20 Muestra 1 de 150 TM - Vaso

Fuente: *Elaboración Propia*



Figura 21 Muestra 2 de 150 TM - Vaso

Fuente: *Elaboración Propia*



Figura 22 Muestra 1 de 100 TM - Embalaje

Fuente: *Elaboración Propia*



Figura 23 Muestra 2 de 100 TM - Embalaje

Fuente: *Elaboración Propia*



Figura 24 *Muestra 1 de 150 TM - Embalaje*

Fuente: *Elaboración Propia*



Figura 25 *Muestra 2 de 150 TM - Embalaje*

Fuente: *Elaboración Propia*

E) Pruebas de degradación en las muestras



Figura 26 *Degradación en residuos de embalaje*

Fuente: *Elaboración Propia*



Figura 27 Degradación en vasos de Poliestireno

Fuente: *Elaboración Propia*

F) Muestras del Proceso de degradación en cada muestra

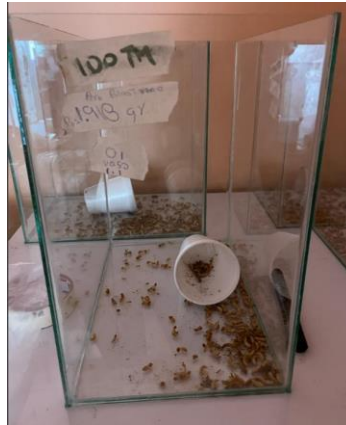


Figura 28 Pecera de la muestra 1 de 100 TM - vaso

Fuente: *Elaboración Propia*



Figura 29 Degradación Presentada en la parte externa del vaso Muestra 1 – 100 TM

Fuente: *Elaboración Propia*



Figura 30 Presentación de agujero en la parte de la base del vaso Muestra 1 - 100 TM

Fuente: *Elaboración Propia*



Figura 31 Degradación presentada al interior del vaso Muestra 1 - 100 TM

Fuente: *Elaboración Propia*



Figura 32 Pecera de muestra 2 de 100 TM - vaso

Fuente: *Elaboración Propia*



Figura 33 *Pecera de muestra 1 de 150 TM - Vaso*

Fuente: *Elaboración Propia*



Figura 34 *Degradación en la base del vaso de poliestireno*

Fuente: *Elaboración Propia*



Figura 35 *Pecera de muestra 2 de 150 TM - Vaso*

Fuente: *Elaboración Propia*



Figura 36 Presentación de agujeros producidos por los gusanos TM

Fuente: *Elaboración Propia*

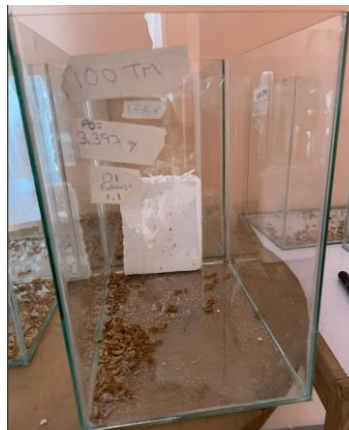


Figura 37 Pecera muestra 1 de 100 TM - Embalaje

Fuente: *Elaboración Propia*



Figura 38 Presentación de degradación en el embalaje por el gusano

Fuente: *Elaboración Propia*



Figura 39 *Pecera de muestra 2 de 100 TM - Embalaje*

Fuente: *Elaboración Propia*



Figura 40 *Presentación de degradación por el gusano*

Fuente: *Elaboración Propia*



Figura 41 *Pecera de muestra 1 de 150 TM - Embalaje*

Fuente: *Elaboración Propia*



Figura 42 Degradación del embalaje por el gusano haciendo agujeros

Fuente: *Elaboración Propia*



Figura 43 Pecera de muestra 2 de 150 TM - Embalaje

Fuente: *Elaboración Propia*



Figura 44 Degradación producida por el gusano en la muestra de embalaje

Fuente: *Elaboración Propia*

G) Pruebas de Toma del peso final de las muestras en laboratorio

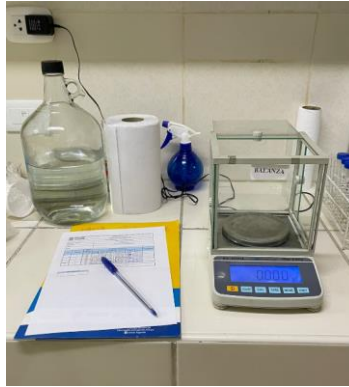


Figura 45 Toma de muestras finales en laboratorio

Fuente: *Elaboración Propia*



Figura 46 Toma de peso final muestra 1 de 100 TM - Vaso

Fuente: *Elaboración Propia*



Figura 47 Toma de peso final muestra 2 de 100 TM - Vaso

Fuente: *Elaboración Propia*



Figura 48 Toma de peso final muestra 1 de 150 TM - Vaso

Fuente: *Elaboración Propia*



Figura 49 Toma de peso final de muestra 2 de 150 TM - Vaso

Fuente: *Elaboración Propia*



Figura 50 Toma de peso final de muestra 1 de 100 TM - Embalaje

Fuente: *Elaboración Propia*



Figura 51 Toma de peso final de muestra 2 de 100 TM - Embalaje

Fuente: *Elaboración Propia*



Figura 52 Toma de peso final de muestra 1 de 150 TM - Embalaje

Fuente: *Elaboración Propia*



Figura 53 Toma de peso final de muestra 2 de 150 TM - Embalaje

Fuente: *Elaboración propia*

ANEXO 3: SOLICITUD DE USO DE INSTRUMENTO EN EL LABORATORIO DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTIN AREQUIPA (UNSA)

SOLICITO: USO DE INSTALACIONES DE LABORATORIO EN LA FACULTAD DE BIOLOGÍA PARA ENSAYOS DE TESIS

SEÑOR: DECANO DE LA FACULTAD DE BIOLOGIA DE LA UNIVERSIDAD SAN AGUSTIN AREQUIPA (UNSA)

Yo, **Steve Dann Camargo Hinostroza**, con DNI: **43979868** docente de la Universidad Continental, Me dirijo a Ud. Para expresarle mi cordial saludo y al mismo tiempo solicitarle permiso para el uso de las instalaciones del laboratorio de biología, para el alumno **Marvin Steve Valladolid Medina** con DNI: **72649326** para que pueda utilizar la Balanza Analítica de la Facultad, para que pueda obtener resultados de su tesis que está realizando en la Universidad Continental.

Por lo expuesto.

Ruego a Usted, señor decano de la facultad tenga a bien acceder a mi solicitud.

ADJUNTO:

- Resolución Decanal N° 0074-2022-FI-UC

Arequipa, 12 de octubre del 2022



Mg. Ing. Steve Dann Camargo Hinostroza
Asesor de Tesis