



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Eficiencia de la larva *Alphitobius diaperinus* para la biodegradación del polietileno de baja densidad y el poliestireno expandido

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERA AMBIENTAL

AUTORA:

Mónica María Marilú, Horna Gil (ORCID: 0000-0002-0421-9849)

ASESORES:

Dr. César Augusto, Monteza Arbulú (ORCID: 0000-0003-2052-6707)

Dra. Bertha Magdalena, Gallo Gallo (ORCID: 0000-0001-8271-9593)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Tratamiento y Gestión de los Residuos

Chiclayo – Perú

2020

Dedicatoria

El presente trabajo de investigación está dedicado primordialmente para toda mi familia que ha sido la base de mi formación, porque gracias a su apoyo económico y moral estoy cumpliendo cada una de mis metas trazadas en la vida. Les agradezco por todo, principalmente por ser la inspiración del desarrollo de mi tesis.

A Dios, quien me ha dado las fuerzas y oportunidades necesarias para enfrentar todo tipo de obstáculos que se presentaron en mi camino, permitiendo lograr mis objetivos trazados.

Y para finalizar a todas las personas que confiaron en mí, sin importar lo que pasara, a mis compañeros de clase por todo el tiempo de estudio y los grandes momentos vividos y por último a mis asesores que fueron la guía ideal para poder culminar este trabajo de investigación.

Mónica María Marilú.

Agradecimiento

Siempre agradecida con Dios por haberme permitido culminar mis estudios, por darme salud, sabiduría y fuerza de siempre levantarme y seguir adelante, por haber hecho cumplir mi sueño realidad y a la vez el de mis padres, los cuales son mi motor y motivo de seguir esforzándome todos los días y agradecer de corazón a todos los familiares, compañeros, amigos y profesores que siempre me impulsaron y brindaron sus conocimientos y amistad verdadera.

Agradecer a mis asesores, el Ingeniero César Monteza Arbulú y la Ingeniera Bertha Gallo Gallo por el seguimiento, conocimiento y apoyo que me brindaron para poder elaborar mi proyecto de tesis.

Mónica María Marilú.

Página del jurado

Declaración de autenticidad



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

Declaratoria de autenticidad del autor

Yo, Horna Gil Mónica María Marilú, alumna de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, y Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Universidad César Vallejo Chiclayo, declaro bajo juramento que todos los datos e información que acompañan a la Tesis titulada “Eficiencia de la larva *Alphitobius diaperinus* para la biodegradación del polietileno de baja densidad y el poliestireno expandido”, son:

1. De mi autoría.
2. La presente Tesis no ha sido plagiado ni total, ni parcialmente.
3. La Tesis no ha sido publicado ni presentado anteriormente.
4. Los resultados presentados en la presente Tesis son reales, no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

Chiclayo, 25 de agosto del 2020

Horna Gil Mónica María Marilú

DNI: 71715142

Índice

Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento	iii
Página del jurado	iv
Declaración de autenticidad.....	v
Índice..	vi
Índice de tablas	viii
Índice de figuras	ix
RESUMEN	x
ABSTRACT	xi
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MÉTODO.....	11
2.1. Tipo y diseño de investigación	11
2.2. Variables	11
2.3. Población, muestra y muestreo	11
2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad.....	11
2.5. Procedimiento	13
2.6. Método de análisis de datos	15
2.7. Aspectos éticos	15
III. RESULTADOS.....	16
IV. DISCUSIÓN.....	26
V. CONCLUSIONES.....	27
VI. RECOMENDACIONES.....	28
REFERENCIAS.....	29
ANEXOS.....	33
Acta de aprobación de originalidad de tesis	41
Reporte de turnitin.....	42

Autorización de publicación en el repositorio institucional UCV.....	43
Autorización de la versión final del trabajo de investigación	44

Índice de tablas

Tabla 01. <i>Técnicas de Campo</i>	12
Tabla 02. <i>Técnica de Recolección de Muestras</i>	12
Tabla 03. <i>Masas de la muestra del Poliestireno expandido tratado con las biomasas</i>	16
Tabla 04. <i>Espuma de poliestireno biodegradado por 50 larvas</i>	16
Tabla 05. <i>Espuma de poliestireno biodegradado por 75 larvas</i>	17
Tabla 06. <i>Espuma de poliestireno biodegradado por 100 larvas</i>	18
Tabla 07. <i>Cálculo de eficiencias para el poliestireno expandido.</i>	19
Tabla 08. <i>Masas de la muestra PEBD tratado con las biomasas</i>	20
Tabla 09. <i>PEBD biodegradado por 50 larvas</i>	20
Tabla 10. <i>PEBD biodegradado por 75 larvas</i>	21
Tabla 11. <i>PEBD biodegradado por 100 larvas</i>	22
Tabla 12. <i>Cálculo de eficiencias para el PEBD.</i>	23

Índice de figuras

<i>Figura 01.</i> Sistema de identificación de resinas.....	7
<i>Figura 02.</i> Taxonomía de <i>Alphitobius diaperinus</i>	7
<i>Figura 03.</i> Ciclo de vida del <i>Alphitobius diaperinus</i>	8
<i>Figura 04.</i> Flujograma de las etapas de investigación	13
<i>Figura 05.</i> Masa biodegradada de la espuma de poliestireno con 50 larvas.	16
<i>Figura 06.</i> Masa biodegradada de la espuma de poliestireno con 75 larvas.	17
<i>Figura 07.</i> Masa biodegradada de la espuma de poliestireno con 100 larvas.	18
<i>Figura 08.</i> Eficiencia de las larvas en el Poliestireno expandido.....	19
<i>Figura 09.</i> Masa biodegradada de la muestra de PEBD con 50 larvas.	21
<i>Figura 10.</i> Gráfico de la masa biodegradada de PEBD con 75 larvas.	22
<i>Figura 11.</i> Gráfico de la masa biodegradada de PEBD con 100 larvas.	23
<i>Figura 12.</i> Eficiencia de las larvas en el PEBD.	24

RESUMEN

La presente investigación se basó en determinar la eficiencia de la larva del *Alphitobius diaperinus* para la biodegradación del PEBD y el poliestireno expandido, realizada a temperatura ambiente. Se determinó la eficiencia de la especie para biodegradar el polietileno de baja densidad y el poliestireno expandido, utilizando bloques de espuma de poliestireno como muestra del poliestireno expandido teniendo como masa inicial 10 g, y para el polietileno de baja densidad se utiliza como muestras las bolsas plásticas teniendo como masa inicial 6.88 g, para someterlos a biodegradación por las larvas de *Alphitobius diaperinus*.

Para desarrollar la investigación se utilizó diferentes números de biomasa, los cuales fueron 50 larvas, 75 larvas y 100 larvas, respectivamente para cada muestra, las cuales fueron puestas en contacto con las dos diferentes muestras en un tiempo de 4, 8, 12 y 16 días. Los resultados obtenidos indicaron que la mayor eficiencia de biodegradación para los dos materiales se dio con la biomasa de 100 larvas biodegradando 1.75 g de la espuma de poliestireno durante los 16 días teniendo una eficiencia de 17.5 % siendo esta la mayor comparadas con las dos biomasa utilizadas, y de la muestra del PEBD se biodegradó 0.57 g durante los 16 días teniendo una eficiencia de 8.3 % siendo esta la mayor comparadas con las dos biomasa utilizadas. Para realizar la investigación se tuvo en cuenta el estadio en que se encuentra las larvas, ya que pueden llegar a pupa muy rápido influyendo de manera negativa en la biodegradación.

Palabras claves: Biodegradación, *Alphitobius diaperinus*, Polietileno de baja densidad, Espuma de poliestireno

ABSTRACT

The present investigation was based on determining the efficiency of the larva of *Alphitobius diaperinus* for the biodegradation of LDPE and expanded polystyrene, carried out at room temperature. The efficiency of the species to biodegrade low-density polyethylene and expanded polystyrene was determined, using blocks of polystyrene foam as a sample of the expanded polystyrene having an initial mass of 10 g, and for low-density polyethylene the bags were used as samples. plastic having an initial mass of 6.88 g, to be subjected to biodegradation by the larvae of *Alphitobius diaperinus*.

To develop the research, different numbers of biomasses were used, which were 50 larvae, 75 larvae and 100 larvae, respectively for each sample, which were put in contact with the two different samples in a time of 4, 8, 12 and 16 days. The results obtained indicated that the highest biodegradation efficiency for the two materials occurred with the biomass of 100 larvae biodegrading 1.75 g of the polystyrene foam during the 16 days, having an efficiency of 17.5 %, this being the highest compared to the two biomasses used. , and of the LDPE sample, 0.57 g biodegraded during the 16 days, having an efficiency of 8.3 %, this being the highest compared with the two biomass used. To carry out the research, the stage of the larvae was taken into account, since they can pupate very quickly, negatively influencing biodegradation.

Keywords: Biodegradation, *Alphitobius diaperinus*, Low density polyethylene, Polystyrene foam

I. INTRODUCCIÓN

El natural crecimiento demográfico, económico y continuos cambios en las características de los productos, permiten mejoras en la forma de vivir de la población. El mundo industrializado ha aumentado la producción de los residuos ya que este va creciendo aceleradamente por año debido al consumo excesivo de las personas.

Los residuos de los productos representan un elevado porcentaje de la basura doméstica, siendo el mayor contaminante del ambiente, una vez puesto los residuos en el cesto la población olvida, y a partir de ahí los residuos ya son asuntos del municipio; las municipalidades tienen muchas opciones como: incinerar la basura (solución costosa pero contaminante), separar los residuos en una planta de tratamiento permitiendo reciclar una parte y convertir los residuos orgánicos en abono (solución ecológica y costosa), o arrojar los residuos en botaderos (solución económica y peligrosa); las municipalidades optan por la tercera opción ya que es la más económica y fácil de realizar de acuerdo a sus posibilidades.

En la presente investigación se buscó encontrar la biomasa eficiente de las larvas de *Alphitobius diaperinus*, para biodegradar el polietileno de baja densidad y el poliestireno expandido, teniendo en cuenta la variación de masa y el tiempo utilizando bolsas plásticas como muestra del PEBD, y espuma de poliestireno como muestra del poliestireno expandido, para poder encontrar una alternativa de solución eficiente en los residuos domésticos obteniendo la reducción de estos.

Los problemas de contaminación van aumentando dejando severos daños en el ambiente, cada vez la generación de los residuos va incrementando debido a la demanda de la población, es por ello que los residuos provocan grandes problemas si no cuentan con un adecuado tratamiento final, siendo muy agresivos con el ambiente por los químicos con los que están hechos.

Conforme transcurra el tiempo se estima a nivel mundial que habrá un aumento en la generación de los residuos, en el año 2016 se registraron 2010 millones de t, de las cuales 242 millones de t, pertenecen a restos plásticos representando el 12 % a nivel mundial. Se prevé que para el año 2050 los residuos sólidos aumentarán a 3 400 millones de t, impulsado por el acelerado crecimiento de la población (World Bank, 2018, p. 117).

Desde que se empezó a fabricar los plásticos en el año 1950 hasta la presente fecha, se ha registrado la elaboración de 8 mil millones de t. Se tiene conocimiento que el mayor país que produce plásticos es China con un 29 %, debido a esto Asia elabora el 50 % de plástico en todo el mundo, le sigue Europa con 19 % y Norteamérica con un 18 % (Greenpeace, 2018, párr. 2).

En las áreas marinas el plástico es el mayor residuo que se encuentra en grandes cantidades con un promedio de 13 millones de t arrojadas por año debido al aumento de la producción, afectando la fauna marina. El material ha llegado a acumularse en las costas de Chile con 5 mil piezas de plástico por km² a una distancia aproximada de mil km de la costa de Chile, en la Isla de Pascua este valor llega a las 50 mil piezas por km² (ONU Medio Ambiente, 2018, p. 109).

El viceministro de Gestión Ambiental informa que el Perú no es ajeno a esta problemática ya que de todos los residuos que se generan, el 10 % representan a los residuos plásticos y desde el año 2015 el porcentaje va aumentando en la generación de los residuos (Ministerio del Ambiente, 2018, párr. 2).

Según la ministra del Ambiente del Perú, a nivel nacional se originan un promedio de 23 mil t diarias de residuos sólidos. En Lima capital se producen 8 mil t diarias, y lo que recicla es de bajo porcentaje a pesar de contar con cuatro rellenos sanitarios, los cálculos más optimistas hablan del 15 %, parte de este problema es que no se segrega los residuos sólidos desde la fuente. Entre los municipios que generan mayores desechos de residuos sólidos están: Villa El Salvador con 300 t, Comas con 400 t y San Juan de Lurigancho con 780 t. A nivel de provincias existen más de 1400 vertederos clandestinos que son utilizados como disposición final de los residuos sólidos, conteniendo desechos orgánicos, papel, pinturas, plásticos, baterías, vidrio, metales, tela, pañales y una gran cantidad de elementos considerados indeseables, provocando graves fuentes de contaminación, enfermedades y otros problemas (Grupo RPP, 2018, párr. 4).

Larry Oblitas, sostiene que, a nivel local, la acumulación de residuos sólidos es otro causante de la problemática ya que Chiclayo produce aproximadamente 400 t de residuos sólidos al día; de estos, el sistema de limpieza solo recolecta 180 t las que son transportadas hasta las pampas de Reque, por las mismas compactadoras que recorren las calles, y dejadas allí al aire libre por lo que esos desechos siguen contaminando. Las otras 220 t de basura están

distribuidas en calles y avenidas, en montículos pestilentes en diversas esquinas de los pueblos jóvenes y las vías que conectan a la ciudad con Lima, Lambayeque, Ferreñafe, Pomalca y Monsefú (Grupo RPP, 2019, párr. 3).

La Comisión Ambiental Municipal de Chiclayo realizó un estudio a 95 trabajadores de limpieza pública y los resultados obtenidos fueron que el 22 % presenta dolencias ortopédicas, el 40 % alergias o enfermedades a la piel, el 51 % enfermedades gastrointestinales, el 73 % enfermedades respiratorias y el 80 % presenta problemas oculares (Semanario Expresión, 2009, párr. 10).

Para poder realizar esta investigación se tiene en cuenta a los siguientes autores por ser ellos los especialistas en la materia que se necesita dar a conocer.

En el artículo de Hickmann et al. (2018), titulado “Susceptibility of the Lesser Mealworm, *Alphitobius diaperinus* (Coleoptera: Tenebrionidae), From Broiler Farms of Southern Brazil to Insecticides” se da a conocer que esta especie causa daños a la estructura de las operaciones avícolas al perforar a través de la madera de aislamiento de pisos y edificios, debido al comportamiento del escarabajo oscuro de galerías de construcción (p. 981).

Hassemar et al. (2019), publicó un artículo titulado “Development of Pull and Push-Pull Systems for Management of Lesser Mealworm, *Alphitobius diaperinus*, in Poultry Houses using Alarm and Aggregation Pheromones”, el cual informa que las modernas instalaciones de las camas de las aves ofrecen condiciones ambientales adecuadas para la proliferación de *A.diaperinus*, incluidas las altas temperaturas, sitios oscuros y abrigados, humedad y disponibilidad de alimentos. Como consecuencia las casas de aves de corral contienen altas densidades de larvas y adultos que se alojan predominantemente debajo de los comederos y a lo largo de los bordes de la casa (p. 1108)

El artículo llamado “Determinación de los estados de desarrollo de *Alphitobius diaperinus* en granjas avícolas”, realizado por Cecco, González, Deluchi, Barrios y De Franceschi (2005) afirman que la larva del *Alphitobius diaperinus* en las granjas avícolas provoca grandes daños en las estructuras al momento de realizar la fase de pupa buscando sitios adecuados, las larvas mastican paneles de aislamiento de poliestireno, fibra de vidrio, la espuma de poliestireno, las paredes y cielorrasos de las granjas. Al perforar los materiales dañan los sistemas de aislamiento térmico menoscabando el confort térmico, retrasando el desarrollo y la producción de las aves provocando la reducción de peso (p. 94).

Yang et al. (2015) realizó una investigación titulada “Biodegradation and Mineralization of Polystyrene by Plastic-Eating Mealworms: Part 1. Chemical and Physical Characterization and Isotopic Tests”, donde estudia la larva de *Tenebrio molitor Linnaeus*. Los gusanos de la harina fueron alimentados con bloques de poliestireno expandido como única dieta durante 30 días, para comprobar la biodegradación del material se tomaron 100 larvas, las cuales fueron nutridas con espuma de poliestireno como única dieta, viviendo el mismo tiempo que las larvas alimentadas por una dieta normal (salvado). Las pruebas que se realizaron durante la investigación fueron: pruebas de alimento constando en cubos de poliestireno expandido donde se comprobó la pérdida de masa de la muestra, se realizó también la prueba de balance de masa de carbono poniendo las larvas en trampas de CO₂. Los resultados fueron que la espuma de poliestireno se degradó positivamente en el canal alimenticio de la larva en un periodo de conservación inferior a 24h, transformando el 47,7 % de carbono del estireno en CO₂ y lo que resta en material biodegradable. Después de realizar la biodegradación del material se encontró en los intestinos de la larva del *Tenebrio molitor Linnaeus* la cepa bacteriana *Exiguobacterium sp cepa YT2* la cual es la encargada de realizar la biodegradación del material.

En el artículo de Yoshida et al. (2016), titulado “A bacterium that degrades and assimilates poly (ethylene terephthalate)”, aísla una bacteria llamada *sakalensis Ideonella 201-F6* que es apta para degradar y asimilar el tereftalato de polietileno utilizándolo como su principal fuente de energía y carbono para desarrollarse, la cual origina dos enzimas que degradan el tereftalato de polietileno en sus dos monómeros etilenglicol y ácido tereftálico. El estudio consistió en tomar 250 muestras de plástico recogidas de una planta de reciclaje de tereftalato de polietileno. Las muestras se analizaron y en ellas se observó un consorcio microbiano que ocasiona cambios en la forma de una lámina del tereftalato de polietileno, encontrándose una mezcla de protozoos, bacterias y levaduras, teniendo una rapidez de degradación de 0.13 mg/cm².día a una temperatura de 30 °C y 75 % de degradación de carbono. Para aislar la bacteria que degrada se hizo el uso de disoluciones limitantes, encontrando la especie *Ideonella*. Se realizó la comparación de muestras, la primera fue con consorcios microbianos con *sakalensis Ideonella* y la segunda fue con consorcios microbianos sin *sakalensis Ideonella*, el resultado fue que la segunda muestra perdió la efectividad de degradación del tereftalato de polietileno, en cambio con la muestra que si presenta la bacteria *sakalensis Ideonella* se obtuvo una eficiencia significativa y la muestra fue por poco completamente degradada en un periodo de seis semanas a temperatura de 30 °C.

En la tesis realizada por Meza (2013, p. 56), “Biodegradabilidad de polietileno tereftalato y de oxopolietileno, a nivel de laboratorio, por la acción de bacterias nativas presentes en humus de lombriz, caballo y gallina”, consistió en trabajar con las bacterias aisladas del humus de lombriz, caballo y gallina para degradar polietileno tereftalato y oxopolietileno. Para biodegradar los dos tipos de plásticos estos se cortaron en pequeños pedazos, después se añadió el humus de cada tipo a las diferentes muestras, se determinó la biodegradación mediante el peso residual [mg] de los trozos de plásticos, los cuales fueron secados a 130 °C y pesados, cada 7 días durante 1 mes y 5 días.

Obteniendo como resultado que las bacterias del humus de lombriz a los 35 días de duración del experimento biodegradaron un 39.99 % presentando una gran diferencia en relación a los otros dos tratamientos el oxopolietileno, y el humus de caballo con el mismo tiempo de experimentación biodegradó un 10,89 % siendo este el mayor valor alcanzado entre los tres humus. Con el humus de la gallina se obtuvieron porcentajes de biodegradación menores siendo este el menos eficiente.

En la tesis elaborada por Daviran (2017) titulada “Biodegradación de la Espuma de Poliestireno por la larva del *Tenebrio molitor* para la producción de Abono, 2017”, la cual tuvo como objetivo degradar la espuma de poliestireno por las larvas del *T. molitor*, el trabajo consistió en biodegradar la espuma de poliestireno utilizando bloques de tecnopor de densidad 10 y densidad 40, se tomaron del día 4 y día 8 por cada bloque utilizado. Para saber si las excretas favorecen a la producción de abono se determinaron los parámetros químicos (fósforo extractable, potasio disponible, nitrógeno y pH) de estas. Los resultados de la variación de la masa fueron que para el tratamiento del poliestireno de densidad 10, el consumo en el día 4 es de 0.04 g y en el día 8 es de 0.12 g; para el tratamiento del poliestireno de densidad 40, el consumo en el día 4 es de 0.07 g y para el día 8 es de 0.15 g.

Los resultados del análisis de las excretas para la espuma de poliestireno de densidad 10 fueron: fosforo extractable 0.27 %, nitrógeno 3.92 % y potasio disponible 0.78 %; para la espuma de poliestireno de densidad 40 fueron: fosforo extractable 0.3 %, nitrógeno 1.18 % y potasio disponible 0.69 %; indicando según el autor que la larva de *Tenebrio molitor* tiene baja eficiencia para la biodegradación de la espuma de poliestireno, cabe resaltar que el estudio se realizó a temperatura ambiente promedio de 21 °C en la estación de invierno.

En alusión a las teorías relacionada tenemos lo siguiente:

El polietileno de baja densidad (PEBD) es un plástico sintético formado por la unión de monómeros obtenidos en el laboratorio de forma artificial, a partir de hidrocarburos de petróleo (Ararat y Murillo, 2016, p. 129). Dentro de las características del PEBD se encuentran: la buena resistencia química y térmica ya que soporta temperaturas perennes de 80° y por un tiempo corto soporta temperaturas de 95°, tiene gran flexibilidad, posee un gran aguante al golpe, su coloración es transparente, pero va cambiando cuando aumenta el espesor. El PEBD se utiliza para la elaboración de juguetes, producción de vasos, cubiertos y platos, fabricación de bolsas plásticas, sacos de plástico y películas para uso agrícola (QuimiNet, 2012, párr. 9). El tiempo de duración del PEBD en el ambiente depende de la degradación de las moléculas por la acción de las radiaciones solares y por el oxígeno que se encuentra en el aire, también pueden influir otros factores como los aditivos que se le echan al producto al momento de fabricarlos, así que el PEBD tiene un tiempo aproximado de degradación de 150 años (Serrano, 2005, p. 242).

El poliestireno expandido (EPS) es un material plástico espumado, derivado de la polimerización reaccionando entre sí, por la adición de feniletileno produciendo perlas blancas que consisten en varias celdas cerradas sólidamente sostenidas y selladas tangencialmente entre sí, conteniendo aun aire atorado en el interior. Las características del poliestireno expandido son excelente material de aislamiento y buena amortiguación (Barrera, Ocampo y Olaya, 2017, p. 180). El poliestireno expandido se usa para envases de alimentos, equipos deportivos, electrónicos, aeronaves y automóviles (EPS Industry Alliance, 2009, p. 4).

El poliestireno expandido es un material que químicamente no se puede degradar, es decir, no se desintegra, no se descompone y no desaparecen del medio ambiente, siendo este un material eterno, este material no contiene Clorofluorocarbonos (CFC) por ende no puede contaminar al aire, agua y el suelo. El reciclaje del poliestireno expandido es costoso y poco rentable, al ser comprimido el material se recupera un pequeño porcentaje de este, debido a que la mayor parte de este está compuesta de aire (Martínez y Laines, 2013, p.64).

La Sociedad de las Industrias Plásticas en Estados Unidos, desarrolló el Sistema de Identificación de Resinas (RIC) para poder clasificar los plásticos y así facilitar la posterior recolección, separación y reciclado, el sistema RIC consiste en establecer un número del 1

al 7, con un triángulo de flechas que representan el símbolo del reciclaje, el número y la letra representa el tipo de plástico por el que está hecho (ASTM International, 2010, párr. 1). El PEBD se encuentra en el número 4 y el poliestireno expandido se encuentra en el número 6.



Figura 01. Sistema de identificación de resinas

Fuente: ASTM International – Standars Worlwide

Respecto a la especie que se utiliza como biomasa es la larva del *Alphitobius diaperinus*, esta es una especie originaria del continente de África, pero a lo largo del tiempo se ha ido expandiendo por los continentes de Europa y América. Es una especie muy abundante encontrada en galpones de las granjas de pollos de engorde y gallinas ponedoras, tanto las larvas como los adultos se encuentran en el excremento que se genera en las avícolas, alcanzando altos niveles de población (El Sitio Avícola, 2015, párr. 4).

La taxonomía del *Alphitobius diaperinus* es la siguiente:

Reino	Animalia
Phyllum	Artrópoda
Clase	Insecta
Orden	Coleóptera
Familia	Tenebrionidae
Género	Ceratitidis
Especie	<i>Alphitobius diaperinus</i>

Figura 02. Taxonomía de *Alphitobius diaperinus*

Fuente: El sitio avícola

Los insectos de *A. diaperinus* son holometábolos o en otras palabras son los que realizan la metamorfosis completa, es decir en su desarrollo comprenden la fase de larva, pupa e imago

(adulto). El desarrollo embrionario de un holometábolo empieza desde la formación del cigoto dentro de la membrana del huevo, las larvas hacen diferentes estadios algunas pueden presentar apéndices bucales masticadores después de realizar todos los estadios y mudar, pasa a la fase pupa donde este se achica y se hace más ancho, manteniéndose inactivo y sin alimento (EcuRed, 2016, párr. 12).

El ciclo de vida de *A. diaperinus* consta de 4 fases: adulta, huevo, larvas y pupa haciendo la metamorfosis completa.

- Adulta: está comprendida de 3 a 12 meses, al emerger de la pupa son de color cobrizo y conforme pasa el tiempo se vuelven color negro, durante el periodo reproductivo las hembras ponen de 3 a 5 huevos por día alcanzando los 2000 huevos durante toda su etapa reproductiva.
- Huevo: se ponen de manera natural en el suelo estos eclosionan en un espacio de 2 a 7 días y en condiciones extremas demoran dos semanas.
- Larvas: presentan de 5 a 7 estados larvarios dependiendo de las condiciones ambientales durando entre 3 semanas y 3 meses, en un principio su piel es blanca y se va opacando conforme va cambiando para crecer, las larvas tienen una conducta masticadora y es el principal responsable del deterioro en las estructuras avícolas, alimentándose prácticamente de todo como los cereales, materia orgánica e incluso de larvas de su misma especie.
- Pupa: al momento de pupar la larva se esconde, cuando está realizando la fase de pupa lo hace en un estadio inmóvil durando entre 1 a 3 semanas para finalmente emerger a adulto (Domínguez, 2012, p. 24).

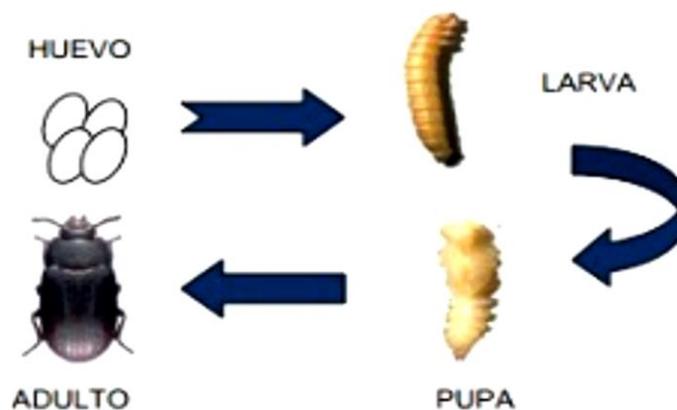


Figura 03. Ciclo de vida del *Alphonse diaperinus*

Fuente: Revista Veterinaria Argentina

El *Alphitobius diaperinus* es un coleóptero, también conocido como gusano de la harina menor o como escarabajo de la cama ya que puede ingresar fácilmente en las superficies y paredes aislantes de las avícolas provocando significativas averías estructurales, por lo cual disminuye la producción avícola (SANSAN, 2015, p. 2).

Debido a su origen tropical, el *A. diaperinus* (gusano de la harina menor) está bien adaptado para el calor y para las condiciones húmedas, por su naturaleza es un animal nocturno con actividad las 24h del día, es un habitante principal de las aves de corral o criador, donde residen abundantemente en los excrementos de aves y en la basura (Francisco y Prado, 2001, p. 126).

Dentro de los rangos óptimos de desarrollo, a medida que la temperatura ambiental disminuye, las tasas de desarrollo se vuelven lentas y se suspenden en la temperatura más baja, mientras que a medida que aumenta la temperatura las tasas de desarrollo crecen hasta una temperatura óptima, y cesan en el nivel máximo, teniendo en los meses de verano la mayor reproducción de las larvas (Seonghyun, Haechul, Ingyun, Taeman y Geuan, 2017, p. 107).

Del Valle et al. (2016, p. 163), informa que los sistemas de engorde de pollo son adecuados para el desarrollo del *A. diaperinus* ya que les aseguran la disponibilidad permanente de alimentos. Estos insectos se encuentran en la cama de pollos, en las virutas de madera, en el excremento, en las plumas, en el alimento desechado y en el agua depositada en el suelo del establecimiento, el *A. diaperinus* se alimenta de la comida para pollos e incluso de las aves que están debilitadas, afectando el rendimiento.

El comportamiento del *Alphitobius diaperinus* en fase de larvas es de congregarse en grandes grupos y evitar la luz directa, éstas pueden pertenecer enterradas debajo de la cama (excrementos), llegando a alimentarse de moho y hongo que se desarrollan a causa de las heces de la gallina, las larvas pueden llegar a perforar el material aislante, destruir juntas de cemento y estructuras de madera, en la fase adulta en principio estas no llegan a volar pero en casos necesarios pueden llegar a hacerlo (Cebollero, 2016, p. 3).

La biodegradación es un proceso que se da a través de organismos vivos (bio) para degradar una sustancia a fragmentos más pequeños o lograr la eliminación completa, en el caso de los plásticos se le llama biodegradación cuando la estructura química sufre cambios significativos en algunas de sus propiedades esto se da por microorganismos como las bacterias y hongos que metabolizan los sustratos, las enzimas son las encargadas de la biodegradación (Posada, 2012, p.68).

Ante la problemática expuesta se planteó la siguiente pregunta problemática ¿Cuál es la eficiencia de la larva *Alphitobius diaperinus* para la biodegradación del PEBD y el poliestireno expandido?

El proyecto de investigación que se presenta pretende disminuir el impacto ambiental que se origina a partir de los residuos como el plástico y el tecnopor, estos materiales son los más económicos y por su módico precio se producen en grandiosas cantidades, y al momento de usarlo son desechados de manera rápida por lo cual tienen un tiempo de uso muy fugaz, provocando que se encuentren en el ambiente por mucho tiempo ya que demoran entre 100 a 500 años en desintegrarse.

La actual investigación es importante porque gracias a las condiciones originarias que tiene un organismo biótico (larva o gusano) se podrá demostrar la eficiencia en la biodegradación del polietileno de baja densidad y el poliestireno expandido las cuales son de tipo comercial, a través de los resultados se ve si se puede apresurar la biodegradación de los plásticos.

Se observa que los problemas de los residuos sólidos no solo afectan al país, sino que también se dan a nivel mundial, se están ejecutando planes para lograr la disminución de plásticos mediante el uso de materiales biodegradables y a través del reciclaje, otra de las opciones es la biodegradación porque permite acelerar los métodos de degradación del plástico, erradicando los plásticos mal dispuestos que se encuentran en el ambiente.

Para ayudar a tratar la problemática, se requiere determinar la eficiencia de la larva del *Alphitobius diaperinus* para la biodegradación del PEBD y el poliestireno expandido, para tal fin se establecen los siguientes objetivos específicos:

- Determinar la biomasa de larvas de *Alphitobius diaperinus* más eficiente para la biodegradación del poliestireno expandido.
- Determinar la biomasa de larvas de *Alphitobius diaperinus* más eficiente para la biodegradación del PEBD.
- Determinar por la biomasa más eficiente el tiempo de biodegradación total de las muestras de poliestireno expandido y el PEBD.

Con el cumplimiento de los objetivos planteados se logra comprobar las siguientes hipótesis: si la biomasa de la larva de *Alphitobius diaperinus* es eficiente en la biodegradación del PEBD y el poliestireno expandido, o si la biomasa de la larva de *Alphitobius diaperinus* no es eficiente en la biodegradación del PEBD y el poliestireno expandido.

II. MÉTODO

2.1. Tipo y diseño de investigación

Esta investigación es cuantitativa y el diseño cuasi experimental ya que se maneja la variable independiente sobre la variable dependiente para observar los efectos.

2.2. Variables

2.2.1. Variable independiente.

Biomasa de la larva *Alphitobius diaperinus*.

2.2.2. Variable dependiente.

Eficiencia de la biodegradación del polietileno de baja densidad y el poliestireno expandido.

2.3. Población, muestra y muestreo

Para realizar esta investigación se toma en cuenta la población porque es el objeto de estudio, la muestra es una parte del objeto donde se llevará a cabo la investigación y en cuanto al muestreo es no probabilístico.

2.3.1. Población.

- Tipos de PEBD como las bolsas plásticas.
- Espuma de poliestireno expandido.
- Biomasa de la larva *Alphitobius diaperinus*.

2.3.2. Muestra.

- 6.88 g de bolsa plástica.
- 10 g de espuma de poliestireno expandido.
- 50 larvas, 75 larvas y 100 larvas de *Alphitobius diaperinus* para cada muestra.

2.3.3. Muestreo.

El muestreo que se realiza en la investigación es de tipo no probabilístico, por conveniencia ya que la muestra no se seleccionó por ningún criterio estadístico.

2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad

La técnica que es realizar los cálculos de eficiencia con referencia al Masa Inicial (Mi) y Masa Final (Mf) del PEBD y el poliestireno expandido.

2.4.1. Técnicas de Campo – Observación.

Tabla 01. *Técnicas de Campo*

TÉCNICA	PROCEDIMIENTO	INSTRUMENTOS
Observación	<ul style="list-style-type: none">▪ Encontrar un criadero de aves donde el excremento contenga <i>Alphitobius diaperinus</i>.	<ul style="list-style-type: none">▪ Enviar un grupo de muestras a SENASA, para que certifiquen que la especie utilizada es la correcta.▪ Cámara fotográfica.

Fuente: Elaboración propia.

2.4.2. Técnica de Recolección de Muestras.

Tabla 02. *Técnica de Recolección de Muestras*

TÉCNICA	PROCEDIMIENTO	INSTRUMENTOS
Muestreo de las larvas de <i>Alphitobius diaperinus</i>	<ul style="list-style-type: none">▪ La muestra de larvas de <i>Alphitobius diaperinus</i> se toman de manera directa del excremento de las aves.▪ Se almacenan en depósitos.	<ul style="list-style-type: none">▪ Guardapolvo, guantes, mascarilla, cofia y zapatos cerrados.▪ Depósitos.

Fuente: Elaboración propia

2.4.3. Métodos de Laboratorio.

Método gravimétrico

Consiste en determinar el porcentaje de masa perdida entra las muestras tratadas por la larva de *A. diaperinus* en un tiempo específico de 16 días. Las muestras son pesadas anteriormente y posteriormente al entrar en contacto con las larvas. Para obtener la masa remanente se desinfecta la muestra y se procede a realizar el pesado.

Masa biodegradada en gramos

Para hallar la masa biodegradada de las muestras de PEBD y el poliestireno expandido se aplica la siguiente fórmula:

$$\text{Masa Remanente} = M_{\text{inicial}} - M_{\text{final}}$$

Eficiencia de las muestras biodegradadas

Para determinar la eficiencia de las larvas en la biodegradación de las muestras se aplica la siguiente fórmula:

$$\text{Eficiencia } M_R = \left(\frac{M_{\text{inicial}} - M_{\text{final}}}{M_{\text{inicial}}} \right) * 100$$

2.4.4. Instrumentos de validación.

En el trabajo de investigación los instrumentos que se utilizan son los siguientes: ficha de llenado de la prueba gravimétrica cuantitativa, donde se registraran las masas iniciales y finales de cada muestra. Se tomó registro de las masas en el día 4, día 8, día 12 y día 16. (Anexo 02)

2.5. Procedimiento

En el siguiente diagrama de flujo se muestran las etapas que se realizan, las cuales se dividen en tres bloques, la primera etapa abarca la recolección de insumos y el objeto de análisis, la segunda etapa trata sobre las actividades que se realizan en el laboratorio y la tercera etapa habla sobre el procesamiento de la información obtenida.

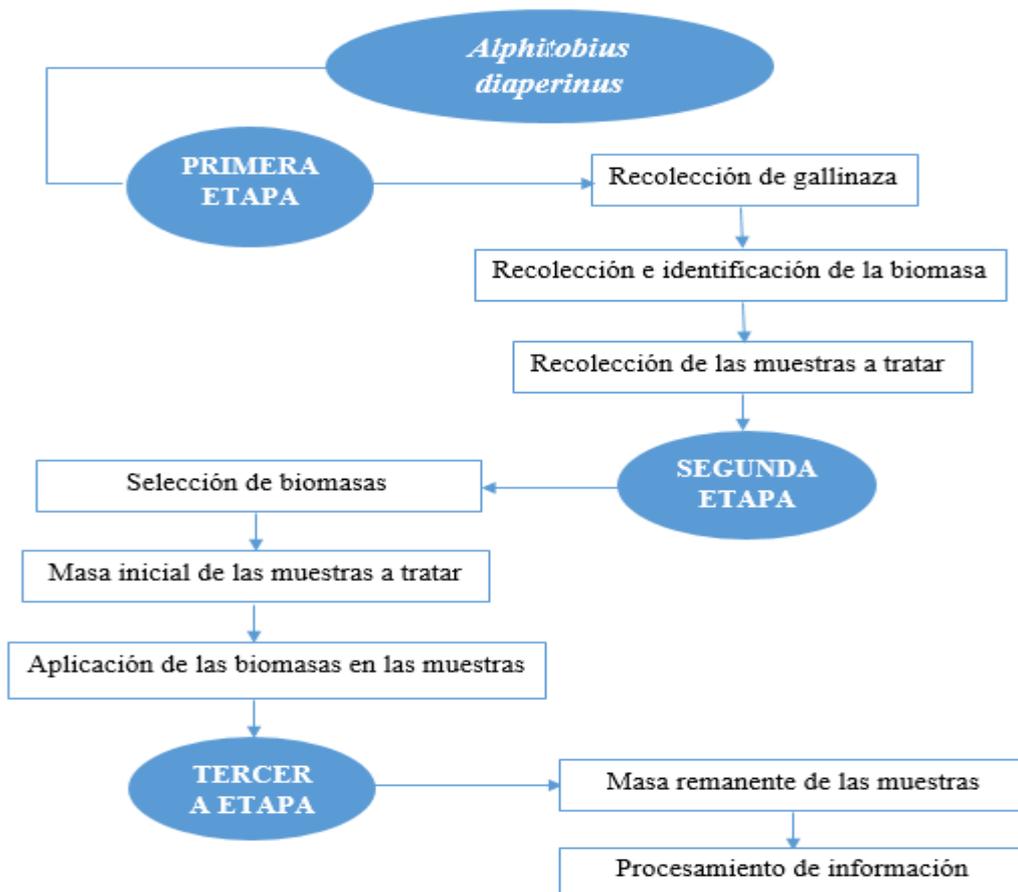


Figura 04. Flujograma de las etapas de investigación

A continuación, se detalla cada etapa con la actividad que se realiza.

2.5.1. Primera etapa.

En esta etapa se detalla los elementos que se utilizan.

- Recolección de las muestras de PEBD y el poliestireno expandido, que serán recogidas de manera directa de los residuos del hogar.
- Recolección de las larvas: estas se obtuvieron mediante el excremento de la gallina, el cual fue recogido de una granja avícola que se dedica a la crianza de gallinas ponedoras, ubicada el km 1.5 carretera Pimentel – San José.
- Identificación y recolección del coleóptero y larvas de *Alphitobius diaperinus*: se tomaron 15 muestras de coleópteros encontradas en el excremento de las gallinas, las cuales fueron enviadas al Servicio Nacional de Salud Agraria (SENASA) para lograr la identificación correcta de la especie. Teniendo ya los resultados de SENASA los cuales fueron: Positivo a la presencia de *Alphitobius diaperinus* Coleóptera Tenebrionidae (Anexo 03), a partir de ahí se pudo recolectar las larvas de *Alphitobius diaperinus* de forma directa de la del excremento de la gallina. Las larvas se manipulan con cuidado utilizando guantes quirúrgicos y mascarillas para prevenir cualquier tipo de contagio por virus.

2.5.2. Segunda etapa.

- En esta etapa se selecciona el número de biomásas a utilizar, los cuales fueron 50 larvas, 75 larvas y 100 larvas. Se realiza también el pesado de cada tipo de material a utilizar las cuales fueron 6.88 g de bolsa plástica como muestra de PEBD y 10 g de espuma de poliestireno como muestra del poliestireno expandido.
- Las muestras se ponen en contacto con las larvas de *Alphitobius diaperinus* para que estas puedan realizar la biodegradación.

2.5.3. Tercera etapa.

- La masa remanente de las muestras de PEBD y poliestireno expandido se realizan en el día 4, día 8, día 12 y día 16, estos se obtienen a través de las pruebas gravimétricas contando con una balanza calibrada para obtener masas correctas. Las muestras se limpian de una manera cuidadosa botando restos de excretas producidas por las larvas, y sacando algunas larvas que se encuentran dentro de las muestras.
- Los datos se obtendrán a través del pesado final de la biodegradación, a partir de ahí se determina la masa biodegradado en gramos y el porcentaje de las muestras

biodegradadas para determinar la eficiencia de las larvas, utilizando las respectivas fórmulas.

2.6. Método de análisis de datos

Los datos analizados fueron hechos por la hoja de cálculo de Excel, donde se introducen los datos para poder procesar la data cuantitativa, obteniendo gráficos e interpretación de estos, el presente proyecto de investigación se ejecutó en un tiempo de 3 meses.

2.7. Aspectos éticos

Toda los presentes datos e información fueron conseguidos producto de la investigación propia tanto en bibliografía física y virtual, asesoramiento de profesionales capacitados y métodos de lectura, todos estos datos son verdaderos, estos fueron obtenidos de fuentes confiables y veraces, cabe recalcar que siempre he actuado teniendo en cuenta mis principios éticos y mis valores, el cual le da un valor agregado a mi proyecto de investigación.

III. RESULTADOS

3.1. Masas del poliestireno expandido tratado por las biomosas de 50 larvas, 75 larvas y 100 larvas; durante los días: 4, 8, 12 y 16

Se utiliza como muestra la espuma de poliestireno.

Tabla 03. Masas de la muestra del Poliestireno expandido tratado con las biomosas

Mi = 10g	Día 4	Día 8	Día 12	Día 16
B₁ = 50 larvas	9.86 g	9.70 g	9.26 g	8.95 g
B₂ = 75 larvas	9.74 g	9.39 g	8.95 g	8.69 g
B₃ = 100 larvas	9.62 g	9.06 g	8.62 g	8.25 g

*Mi = Masa inicial del Poliestireno expandido

3.1.1. Masa biodegradada de la muestra de Poliestireno expandido con 50 larvas.

Para calcular la biodegradación de cada muestra por día se utiliza la siguiente fórmula:

$$\text{Masa Remanente} = M_{\text{inicial}} - M_{\text{final}}$$

Tabla 04. Espuma de poliestireno biodegradado por 50 larvas

Biomasa	Biodegradación día 4	Biodegradación día 8	Biodegradación día 12	Biodegradación día 16
50 larvas	0.14 g	0.16 g	0.44 g	0.31 g

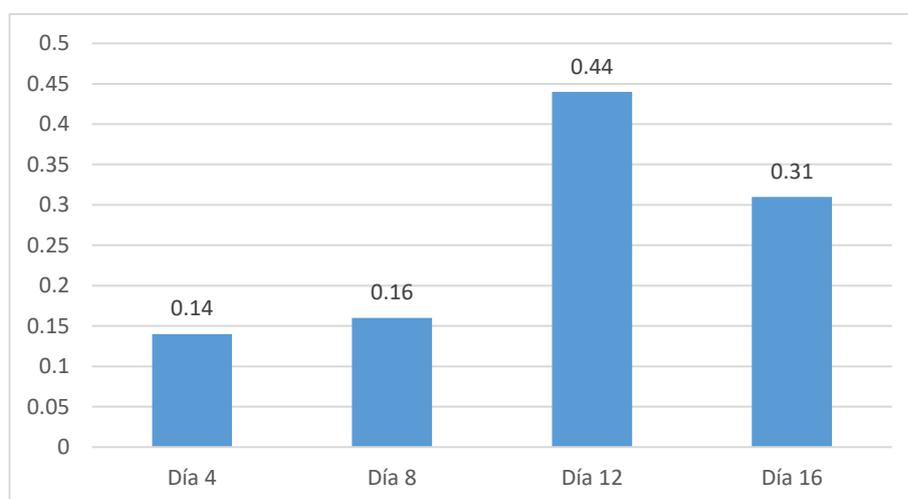


Figura 05. Masa biodegradada de la espuma de poliestireno con 50 larvas.

En la Figura 05 se observa que aplicando la biomasa de 50 larvas de *Alphitobius diaperinus* a la muestra de espuma de poliestireno, en el día 12 presenta mayor biodegradación con una masa de 0.44 g, la biodegradación en el día 16 disminuyó a 0.31 g, debido a que las larvas ingresan a realizar la etapa de pupa, dejando de biodegradar la muestra. La biomasa de 50 larvas a lo largo de los 16 días logró biodegradar 1.05 g de espuma de poliestireno.

3.1.2. Masa biodegradada de la muestra de Poliestireno expandido con 75 larvas.

Para calcular la biodegradación de cada muestra por día se utiliza la siguiente fórmula:

$$\text{Masa Remanente} = M_{\text{inicial}} - M_{\text{final}}$$

Tabla 05. Espuma de poliestireno biodegradado por 75 larvas

Biomasa	Biodegradación día 4	Biodegradación día 8	Biodegradación día 12	Biodegradación día 16
75 larvas	0.26 g	0.35 g	0.44 g	0.26 g

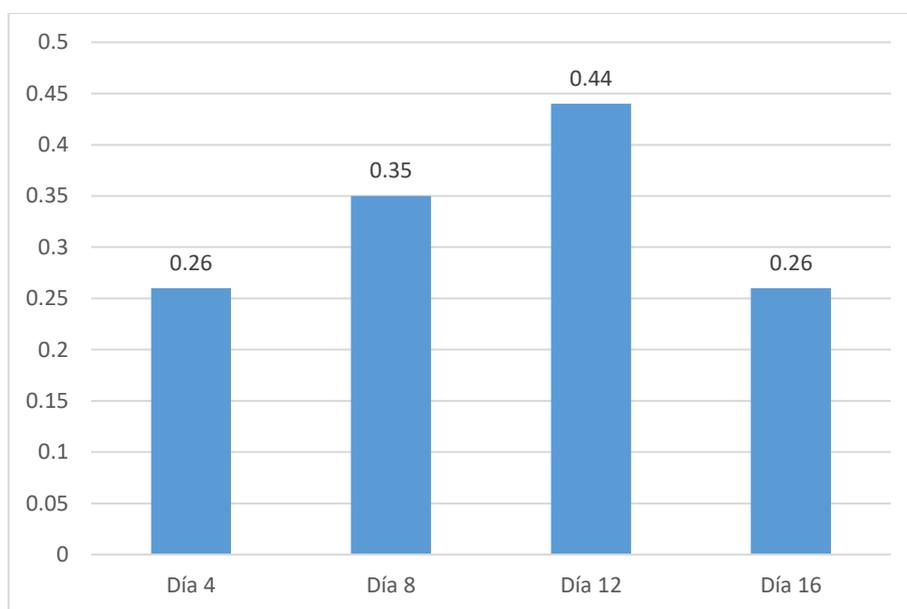


Figura 06. Masa biodegradada de la espuma de poliestireno con 75 larvas.

En la Figura 06 se observa que aplicando la biomasa de 75 larvas de *Alphitobius diaperinus* a la muestra de espuma de poliestireno, en el día 12 presenta mayor

biodegradación con una masa de 0.44 g, la biodegradación en el día 16 disminuyó a 0.26 g, debido a que las larvas ingresan a realizar la etapa de pupa, dejando de biodegradar la muestra. La biomasa de 75 larvas a lo largo de los 16 días logró biodegradar 1.31 g de espuma de poliestireno.

3.1.3. Masa biodegradada de la muestra de poliestireno con 100 larvas.

Para calcular la biodegradación de cada muestra por día se utiliza la siguiente fórmula:

$$\text{Masa Remanente} = \text{Minicial} - \text{Mfinal}$$

Tabla 06. Espuma de poliestireno biodegradado por 100 larvas

Biomasa	Biodegradación día 4	Biodegradación día 8	Biodegradación día 12	Biodegradación día 16
100 larvas	0.38 g	0.56 g	0.44 g	0.37 g

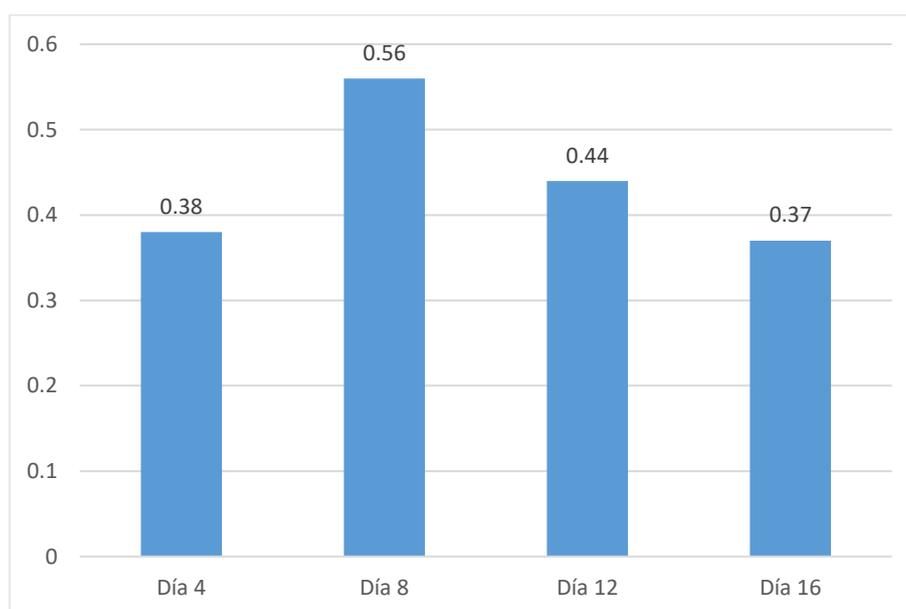


Figura 07. Masa biodegradada de la espuma de poliestireno con 100 larvas.

En la Figura 07 se observa que aplicando la biomasa de 100 larvas de *Alphitobius diaperinus* a la muestra de espuma de poliestireno, en el día 8 presenta mayor biodegradación con una masa de 0.56 g, la biodegradación en el día 12 disminuyó a 0.44 g, y en el día 16 la biodegradación disminuyó a 0.37 g, debido a que las larvas ingresan a realizar la etapa de pupa, dejando de biodegradar la muestra. La biomasa

de 100 larvas a lo largo de los 16 días logró biodegradar 1.75 g de espuma de poliestireno.

3.1.4. Eficiencia de la larva del *Alphitobius diaperinus* para biodegradar el poliestireno expandido.

En la Tabla 09 se hace referencia a las eficiencias obtenidas posteriormente al tratamiento con los tres distintos números de larvas de 50, 75 y 100, aplicadas a la muestra del poliestireno expandido. Para calcular la eficiencia se calcula la siguiente fórmula:

$$Eficiencia M_R = \left(\frac{M_{inicial} - M_{final}}{M_{inicial}} \right) * 100$$

Tabla 07. Cálculo de eficiencias para el poliestireno expandido.

Biomasa	Masa inicial	Masa final	Eficiencia
50 larvas	10 g	8.95 g	10.5 %
75 larvas	10 g	8.69 g	13.1 %
100 larvas	10 g	8.25 g	17.5 %

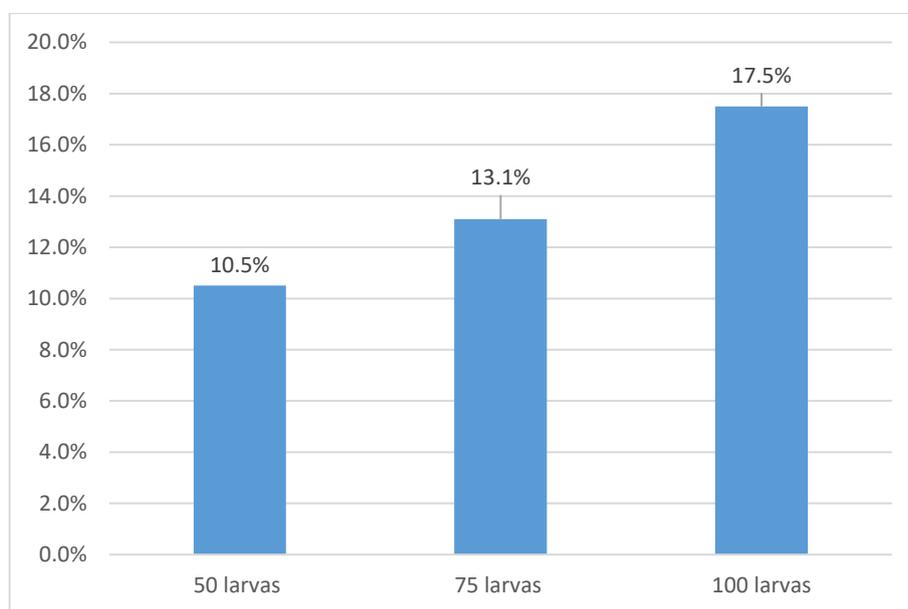


Figura 08. Eficiencia de las larvas en el Poliestireno expandido.

En la Figura 08 se evidencia que existe mayor eficiencia en las biomazas de 100 larvas, frente a las otras dos biomazas. El porcentaje obtenido hace referencia a la

aplicación de la fórmula de eficiencia anteriormente mencionada, en la que se usan la diferencia de masas (inicial menos final) dividido entre la masa inicial. La eficiencia se obtuvo como consecuencia de 16 días de aplicación ininterrumpidas, de la biomasa con la muestra. El mayor porcentaje de eficiencia corresponde a la biomasa de 100 larvas con porcentaje de 17.5 % comparado con el menor porcentaje de eficiencia que corresponde a la biomasa de 50 larvas con porcentaje de 10.5 %, indicando que la cantidad de larvas y fase en las que se encuentren, influyen en la biodegradación del material.

3.2. Masas de las muestras de PEBD tratado por las biomosas de 50 larvas, 75 larvas y 100 larvas; durante los días: 4, 8, 12 y 16

Se utiliza como muestras las bolsas plásticas.

Tabla 08. Masas de la muestra PEBD tratado con las biomosas

Mi = 6.88 g	Día 4	Día 8	Día 12	Día 16
B₁ = 50 larvas	6.85 g	6.78 g	6.67 g	6.61 g
B₂ = 75 larvas	6.83 g	6.74 g	6.59 g	6.49 g
B₃ = 100 larvas	6.79 g	6.65 g	6.46 g	6.31 g

*Mi = Masa inicial del Polietileno de baja densidad

3.2.1. Masa biodegradada de la muestra de PEBD con 50 larvas.

Para calcular la biodegradación de cada muestra por día se utiliza la siguiente fórmula:

$$\text{Masa Remanente} = M_{\text{inicial}} - M_{\text{final}}$$

Tabla 09. PEBD biodegradado por 50 larvas

Biomasa	Biodegradación día 4	Biodegradación día 8	Biodegradación día 12	Biodegradación día 16
50 larvas	0.03 g	0.07 g	0.11 g	0.06 g

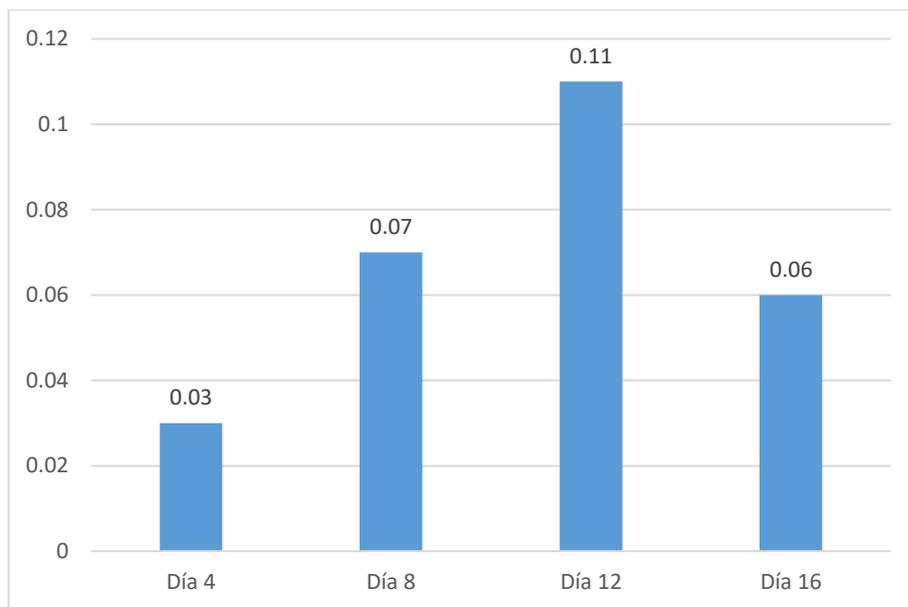


Figura 09. Masa biodegradada de la muestra de PEBD con 50 larvas.

En la Figura 09 se observa que aplicando la biomasa de 50 larvas de *Alphitobius diaperinus* a la muestra de bolsas plásticas, en el día 12 presenta mayor biodegradación con una masa de 0.11 g, la biodegradación en el día 16 disminuyó a 0.06 g, debido a que las larvas ingresan a realizar la etapa de pupa, dejando de biodegradar la muestra. La biomasa de 50 larvas a lo largo de los 16 días logró biodegradar 0.27 g de espuma de poliestireno.

3.2.2. Masa biodegradada de la muestra de Poliestireno expandido con 75 larvas.

Para calcular la biodegradación de cada muestra por día se utiliza la siguiente fórmula:

$$\text{Masa Remanente} = \text{Minicial} - \text{Mfinal}$$

Tabla 10. PEBD biodegradado por 75 larvas

Biomasa	Biodegradación	Biodegradación	Biodegradación	Biodegradación
	día 4	día 8	día 12	día 16
75 larvas	0.05 g	0.09 g	0.15 g	0.10 g

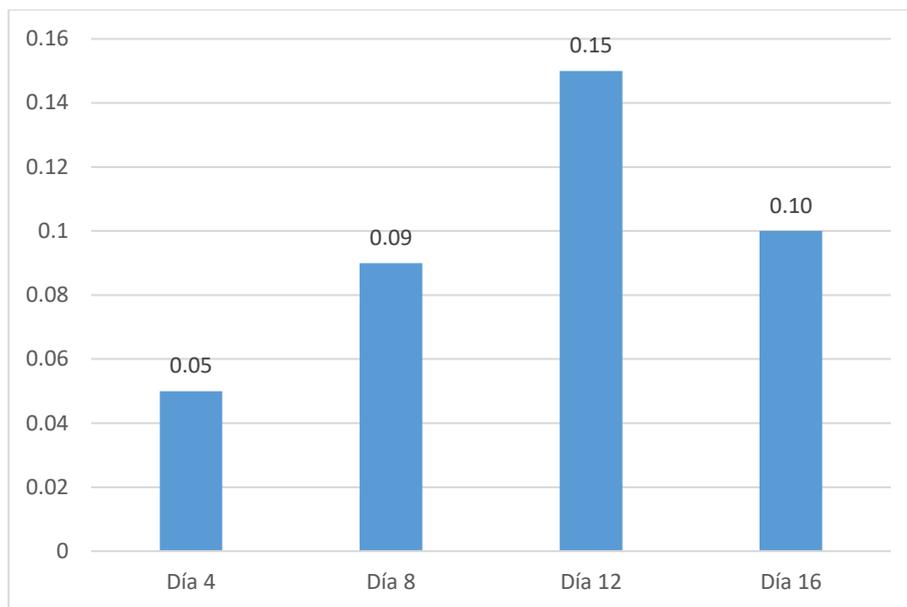


Figura 10. Gráfico de la masa biodegradada de PEBD con 75 larvas.

En la Figura 10 se observa que aplicando la biomasa de 75 larvas de *Alphitobius diaperinus* a la muestra de espuma de poliestireno, en el día 12 presenta mayor biodegradación con una masa de 0.15 g, la biodegradación en el día 16 disminuyó a 0.10 g, debido a que las larvas ingresan a realizar la etapa de pupa, dejando de biodegradar la muestra. La biomasa de 75 larvas a lo largo de los 16 días logró biodegradar 0.39 g de espuma de poliestireno.

3.2.3. Masa biodegradada de la muestra de poliestireno con 100 larvas.

Para calcular la biodegradación de cada muestra por día se utiliza la siguiente fórmula:

$$\text{Masa Remanente} = M_{\text{inicial}} - M_{\text{final}}$$

Tabla 11. PEBD biodegradado por 100 larvas

Biomasa	Biodegradación	Biodegradación	Biodegradación	Biodegradación
	día 4	día 8	día 12	día 16
100 larvas	0.09 g	0.14 g	0.19 g	0.15 g

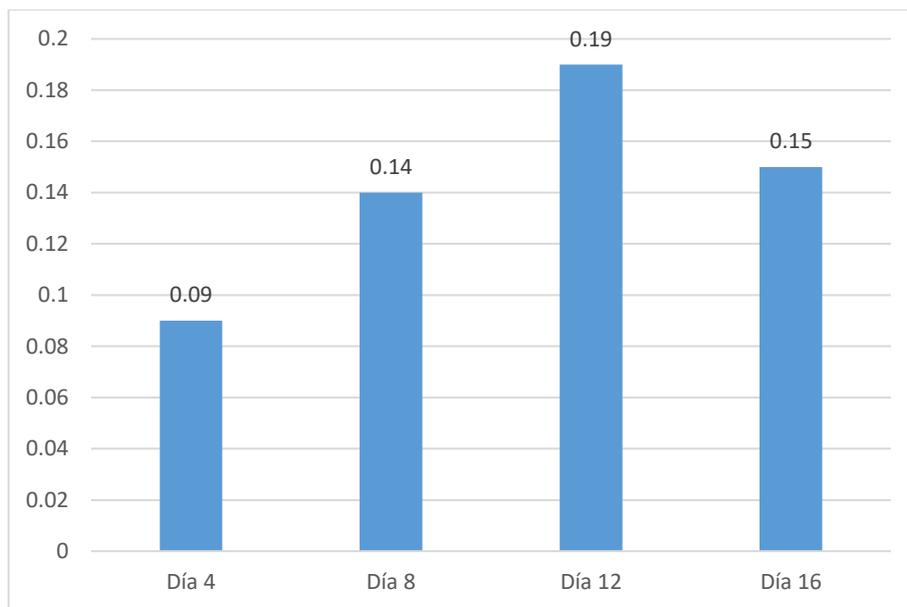


Figura 11. Gráfico de la masa biodegradada de PEBD con 100 larvas.

En la Figura 11 se observa que aplicando la biomasa de 100 larvas de *Alphitobius diaperinus* a la muestra de espuma de poliestireno, en el día 12 presenta mayor biodegradación con una masa de 0.19 g, la biodegradación en el día 16 disminuyó a 0.15 g, debido a que las larvas ingresan a realizar la etapa de pupa, dejando de biodegradar la muestra. La biomasa de 50 larvas a lo largo de los 16 días logró biodegradar 0.57 g de espuma de poliestireno.

3.2.4. Eficiencia de la larva del *Alphitobius diaperinus* para biodegradar el PEBD.

En la Tabla 14 se hace referencia a las eficiencias obtenidas posteriormente al tratamiento con los tres distintos números de larvas de 50, 75 y 100, aplicadas a la muestra de PEBD. Para calcular la eficiencia se calcula la siguiente fórmula:

$$\text{Eficiencia } M_R = \left(\frac{M_{\text{inicial}} - M_{\text{final}}}{M_{\text{inicial}}} \right) * 100$$

Tabla 12. Cálculo de eficiencias para el PEBD.

N° de larvas	Masa inicial	Masa final	Eficiencia
50 larvas	6.88 g	6.61 g	3.9 %
75 larvas	6.88 g	6.02 g	5.7 %
100 larvas	6.88 g	5.39 g	8.3 %

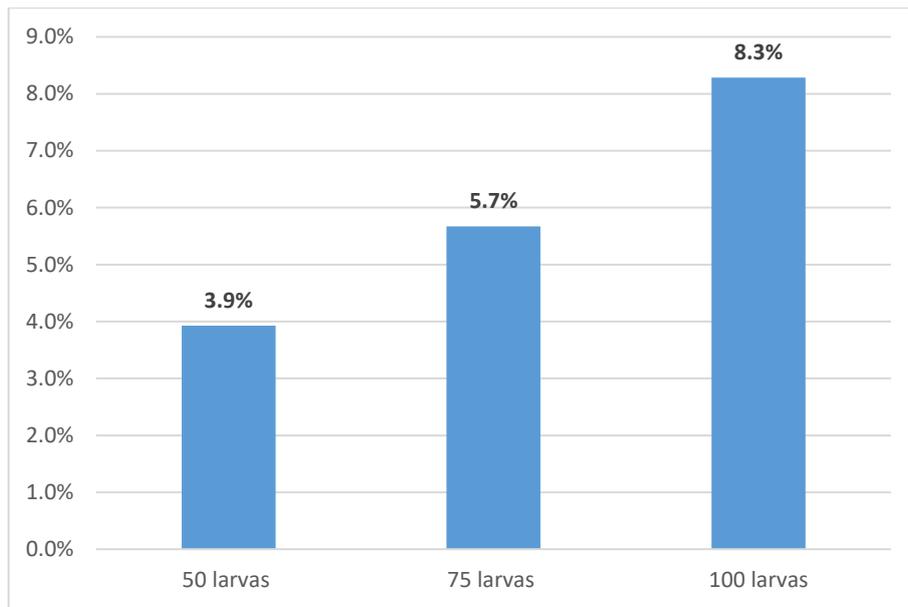


Figura 12. Eficiencia de las larvas en el PEBD.

En la Figura 12 se demuestra que existe mayor eficiencia en las biomásas de 100 larvas, frente a las otras dos biomásas. El porcentaje que se obtuvo hace referencia a la aplicación de la fórmula de eficiencia anteriormente mencionada, en la que se usan la diferencia de masas (inicial menos final) dividido entre la masa inicial. La eficiencia se obtuvo como consecuencia de 16 días de aplicación ininterrumpidas, de la biomasa con la muestra. El mayor porcentaje de eficiencia corresponde a la biomasa de 100 larvas con porcentaje de 8.3 % comparado con el menor porcentaje de eficiencia que corresponde a la biomasa de 50 larvas con porcentaje de 3.9 %, indicando que la cantidad de larvas y fase en las que se encuentren, influyen en la biodegradación del material.

3.3. Tiempo de biodegradación total de la muestra de Poliestireno expandido

El tiempo de biodegradación total de las larvas a las muestras de poliestireno expandido no se pudo determinar ya que estas cambiaron de fase muy rápido, a pupa en un tiempo de 14 días. Y esta investigación busca determinar el tiempo de biodegradación de las larvas, sin la influencia de las demás fases pupa y adulto.

3.4. Tiempo de biodegradación total de la muestra de PEBD

El tiempo de biodegradación total de las larvas a las muestras del PEBD no se pudo determinar ya que estas cambiaron de fase muy rápido, a pupa en un tiempo de 14 días. Y está investigación busca determinar el tiempo de biodegradación de las larvas, sin la influencia de las demás fases pupa y adulto.

3.5. Contrastación de hipótesis

De acuerdo a los resultados obtenidos, se puede aceptar la hipótesis alternativa si la biomasa de la larva de *Alphitobius diaperinus* es eficiente en la biodegradación del PEBD ya que se obtuvo en una eficiencia de 17.5 % en la muestra poliestireno expandido con la biomasa de 100 larvas, y se rechaza la hipótesis nula si la biomasa de la larva de *Alphitobius diaperinus* no es eficiente en la biodegradación del PEBD y el poliestireno expandido, porque si se obtuvo porcentajes de eficiencia.

IV. DISCUSIÓN

Para esta investigación se compiló información de investigaciones relacionadas a la biodegradación de materiales plásticos por parte de organismos bióticos como lo son los animales (larvas) y los microorganismos (bacterias), los cuales sirven como principal teoría para interpretar los resultados obtenidos en esta investigación. La presente investigación tiene como finalidad biodegradar dos tipos de material plástico los cuales fueron el poliestireno expandido y el PEBD, poniendo en contacto las muestras con los diferentes números de biomasa.

Para el objetivo general que es determinar la eficiencia de la larva del *Alphitobius diaperinus* para la biodegradación del PEBD y el poliestireno expandido, se tiene en cuenta a Yang (2015) ya que él realizó una investigación de biodegradación de la espuma de poliestireno con 40 larvas del *Tenebrio molitor* la cuales pertenecen a la familia Tenebrionidae de orden Coleóptera, al igual que el *Alphitobius diaperinus*, dicho autor en su investigación tuvo como resultados que la biodegradación en el día 4 fue de 0.07 g y 0.09 g, para el día 8 fue de 0.07 g y 0.11 g. Sin embargo, en la presente investigación la biodegradación para el poliestireno expandido se realizó durante 16 días con diferentes números de biomasa obteniendo como resultados, de la biomasa de 50 larvas en el día 4 de 0.14 g, día 8 de 0.16 g, día 12 de 0.44 g y el día 16 de 0.31 g; para la biomasa de 75 larvas en el día 4 de 0.26 g, día 8 de 0.35 g, día 12 de 0.44 g y el día 16 de 0.26 g; y para la biomasa de 100 larvas en el día 4 de 0.38 g, día 8 de 0.56 g, día 12 de 0.44 g y el día 16 de 0.37 g. Por lo cual los resultados obtenidos comparados con los de Yang, son mayores, por lo cual indica que larvas de *Alphitobius diaperinus* son más eficientes que las larvas de *Tenebrio molitor*.

Bombelli, Howe Y Bertocchini, (2017), en el artículo científico “Polyethylene biodegradation by caterpillars of the wax moth *Galleria mellonella*”, se investigó la biodegradación de muestras de PEBD, con la aplicación de larvas vivas de *Galleria mellonella*, demostrando que es capaz de degradar el polietileno en el tiempo de 40 minutos de contacto, al demostrar la degradación realizó la preparación de homogenizado del tracto digestivos de las larvas completas teniendo como resultado de degradación 13 % del material en 14 horas, aplicando medios de control, congelación, desinfección y uso de incubadora. En esta investigación se ha demostrado resultados óptimos, debido a que se pudo evidenciar los porcentajes de eficiencias entre el número de 50 larvas, 75 larvas y 100 larvas, la máxima eficiencia fue de 17.5 % con la aplicación de 100 larvas en el PEBD.

V. CONCLUSIONES

1. Para determinar la biomasa de larvas del *Alphitobius diaperinus* más eficiente para la biodegradación del PEBD se trabajó con 3 biomasa diferentes, de 50, 75 y 100 larvas, en 4, 8, 12 y 16 días, la biomasa más eficiente es la de 100 larvas con un 8.3 %, indicando que la cantidad de biomas influye en la biodegradación del material a comparación de las biomasa ya mencionadas.
2. Para determinar la biomasa de larvas del *Alphitobius diaperinus* más eficiente para la biodegradación del poliestireno expandido se trabajó con 3 biomasa diferentes, de 50, 75 y 100 larvas, en 4, 8, 12 y 16 días, la biomasa más eficiente es la de 100 larvas con un 17.5 %, indicando que la cantidad de biomas influye en la biodegradación del material a comparación de las biomasa ya mencionadas.
3. Se determinó el tiempo de biodegradación para las diferentes muestras de Poliestireno expandido y PEBD con la mejor biomasa de las larvas de *Alphitobius diaperinus*, la cual fue la de 100 larvas para cada muestra. Debido a que las larvas realizan metamorfosis completa no hay tiempo de biodegradación total ya que estas a cabo de 14 días pasan a la etapa de pupa, al estar en esta etapa dejan de realizar la biodegradación porque la realizan es estadio inmóvil, dejando de alimentarse del material, y lo que se busca es encontrar el tiempo de biodegradación que realiza las larvas sin que influyan las demás etapas del *Alphitobius diaperinus*.

VI. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda realizar la investigación con larvas que se encuentren en estadio temprano (jóvenes), ya que influyen mucho en los datos obtenidos, siendo afectados, porque las larvas adultas cambiaron de fase, a pupa, influyendo en el tratamiento del poliestireno expandido y el PEBD, ya que se las larvas solo mantuvieron en esa fase por un tiempo aproximado de 14 días.
2. Realizar estudios posteriores a fin de poder aislar la enzima que desarrolla la biodegradación, es decir realizar ensayos con los componentes presentes en el tracto digestivo de la larva, y de así poder realizar la degradación natural de estos agentes. Lo mencionado se puede aplicar como tratamiento en los rellenos sanitarios con la finalidad de reducir el volumen a este tipo de residuos.
3. Realizar la biodegradación del PEBD y el poliestireno expandido con números de biomasa más altos.

REFERENCIAS

A bacterium that degrades and assimilates poly (ethylene terephthalate) por Shosuke Yoshida [et al.]. *Science*, 351 (6278): 1196 – 1199, noviembre 2016.

ISSN: 1095-9203

ARARAT, Carlos y MURILLO, Edwin. Polietileno de baja densidad funcionalizado con un poliéster polioliol altamente ramificado maleinizado. *Ingeniería y Ciencia*. 12 (23): 127 – 144, junio 2016.

ISSN: 1794-9165

BARRERA, Gina, OCAMPO, Luz y OLAYA, John. Production and Characterization of the Mechanical and Thermal Properties of Expanded Polystyrene with Recycled Material. *Ing. Univ. Bogotá (Colombia)*, 21 (2): 177-194, julio – diciembre de 2017.

ISSN: 0123-2126

Biodegradation and Mineralization of Polystyrene by Plastic-Eating Mealworms: Part 1. Chemical and Physical Characterization and Isotopic Tests por Yu Yang [et al.]. *Environmental Science & Technology*, 49 (20):12080 – 12086, octubre 2015.

DOI: 10.1021/acs.est.5b02661

Biological control of *Alphitobius diaperinus* with *Steinernema rarum* CUL and *Heterorhabditis bacteriophora* SMC and feasibility of application in rice hull por Del Valle E. [et al.]. *Journal of Pest Science*, 89 (1): 161 – 170, 2016.

ISSN 1612-4766

BOMBELLI, Paolo, HOWE, Christopher, BERTOCCHINI, Federica. Polyethylene biodegradation by caterpillars of the wax moth *Galleria mellonella*. *Current Biology*, (27): R283 – R293, abril 2017.

DOI: 10.1016 / j.cub.2017.02.060

Características y aplicaciones del polietileno de baja densidad (LDPE). QuimiNet. 11 de enero de 2012. Disponible en: <https://www.quiminet.com/articulos/caracteristicas-y-aplicaciones-del-polietileno-de-baja-densidad-ldpe-2663472.htm>

CEBOLLERO, Javier. *Alphitobius diaperinus*, enemigo de las explotaciones avícolas [en línea]. Corporación Alimentaria Guissona S.A. 2016. [Fecha de consulta: 15 de junio de

2019]. Disponible en:
http://ww2.cag.es/cages/corporacio/pdf/infonutricio/alphitobius_diaperinus.pdf

Chiclayo, ciudad moderna cargada de contaminación [en línea]. Semanario Expresión. PE. 15 de noviembre del 2009. [Fecha de consulta 20 de abril del 2019]. Disponible en:
<http://www.semanarioexpresion.com/Presentacion/noticia1.php?noticia=1668&edicionbuscada=641>

Chiclayo | La ciudad donde el tratamiento de la basura fracasó por la corrupción [en línea]. Grupo RPP. PE. 24 de febrero del 2019. [Fecha de consulta 17 de abril del 2019]. Disponible en:
<https://rpp.pe/peru/lambayeque/chiclayo-la-ciudad-donde-el-tratamiento-de-la-basura-fracaso-por-la-corrupcion-noticia-1182592?ref=rpp>

Datos sobre la producción de plásticos [en línea]. Greenpeace. ES. 2 de agosto de 2018. [Fecha de consulta: 15 de abril del 2019]. Disponible en:
<https://es.greenpeace.org/es/trabajamos-en/consumismo/plasticos/datos-sobre-la-produccion-de-plasticos/>

DAVIRAN Yance, Peter. Biodegradación de la Espuma de Poliestireno por la larva del *Tenebrio molitor* para la producción de Abono, 2017. Tesis (Ingeniero Ambiental). Lima: Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería, 2017, 116 pp.

Determinación de los estados de desarrollo de *Alphitobius diaperinus* en granjas avícolas por Cecco L. [et al.]. *Revista Argentina de Producción Animal*, 25: 93 – 99, 2005. Disponible en: <http://ppct.caicyt.gov.ar/index.php/rapa/article/view/4349>

Development of pull and push–pull systems for management of lesser mealworm, *Alphitobius diaperinus*, in poultry houses using alarm and aggregation pheromones por Marla J. Hassemer [et al.]. *Pest Management Science*, 75 (4): 1107 – 1114, abril 2019. DOI: 10.1002/ps.5225

DOMINGUEZ, Ignacio. *Alphitobius diaperinus* ¿Un problema bajo control o bajo los comederos? *Selecciones Avícolas*. 23 – 27, mayo de 2012. Disponible en: <https://seleccionesavicolas.com/avicultura/2012/05/alphitobius-diaperinus-un-problema-bajo-control-o-bajo-los-comederos>

Expanded Polystyrene Packaging Environmental Profile Analysis. EPS Industry Alliance. 15 de julio de 2009. Disponible en:

https://www.epsindustry.org/sites/default/files/EPS_Environmental_Profile_Analysis_0.pdf

FRANCISCO O. y PRADO A. Characterization of the larval stages of *Alphitobius diaperinus* (Panzer) (Coleoptera: Tenebrionidae) using head capsule width. *Rev. Bras. Biol.* 61 (1): 125 – 131. Febrero de 2001.

ISSN: 0034-7108

Holometábolos. EcuRed. 13 de marzo de 2016. Disponible en: <https://www.ecured.cu/Holomet%C3%A1bolos>

Identificación de resinas. ASTM International. Noviembre – diciembre de 2010. Disponible en: https://www.astm.org/SNEWS/SPANISH/SPND10/d2095_spnd10.html

Importancia de los escarabajos en explotaciones de aves. El Sitio Avícola. 07 de julio de 2015. Disponible en: <http://www.elsitioavicola.com/articles/2730/importancia-de-los-escarabajos-en-explotaciones-de-aves/>

MARTÍNEZ, Crystell y LAINES, José. Poliestireno Expandido (EPS) y su problemática ambiental. *Kuxulkab.* 19 (36): 63 – 65, enero – junio de 2013.

ISSN: 1665-0514

MEZA Vargas, Mauricio. Biodegradabilidad de polietileno tereftalato y de oxopolietileno, a nivel de laboratorio, por la acción de bacterias nativas presentes en humus de lombriz, caballo y gallina. Tesis (Ingeniero en Biotecnología). Sangolquí: Escuela Politécnica del Ejército, Departamento de Ciencias de la Vida Ingeniería en Biotecnología, 2013, 71 pp.

MINAM: El plástico representa el 10% de todos los residuos que generamos en el Perú [en línea]. Ministerio del Ambiente. PE. 18 de mayo del 2018. [Fecha de consulta 16 de abril del 2019]. Disponible en: <http://www.minam.gob.pe/notas-de-prensa/minam-el-plastico-representa-el-10-de-todos-los-residuos-que-generamos-en-el-peru/#:~:text=MINAM%3A%20El%20pl%C3%A1stico%20representa%20el,el%20Per%C3%BA%20%7C%20Ministerio%20del%20Ambiente>

Perspectiva de la Gestión de Residuos en América Latina y el Caribe por ONU Medio Ambiente. Panamá. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, 2018. 133 pp.

Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.11822/26448>

ISBN: 978-92-807-3715-8

Perú produce 23 mil toneladas diarias de basura: la alarmante gestión de residuos sólidos [en línea]. Grupo RPP. PE. 05 de septiembre del 2018. [Fecha de consulta 16 de abril del 2019]. Disponible en: <https://rpp.pe/politica/elecciones/peru-produce-23-mil-toneladas-diarias-de-basura-la-alarmante-gestion-de-residuos-solidos-noticia-1147951>

POSADA, Beatriz. La degradación de plásticos. *Revista Universidad EAFIT.*, 30 (94): 67 – 86, 2012. Disponible en: <http://publicaciones.eafit.edu.co/index.php/revista-universidad-eafit/article/view/1408>.

SEONGHYUN, K., HAECHUL, P., INGYUN, P., TAEMAN, H. y GEUAN, K. Effect of temperature on the development of *Alphitobius diaperinus* (Coleoptera: Tenebrionidae). *International Journal of Industrial Entomology*, 35 (2): 106-110, 2017.

ISSN: 2586-4785

SERRANO, Zoilo. Construcción de invernaderos. España: Ediciones Mundi-Prensa, 2005, 512 pp.

ISBN: 978-84-8476-251-5

Susceptibility of the Lesser Mealworm, *Alphitobius diaperinus* (Coleoptera: Tenebrionidae), From Broiler Farms of Southern Brazil to Insecticides por Federico Hickmann [et al]. *Journal of Economic Entomology*, 111: 980 – 985, marzo 2018.

DOI: 10.1093/jee/toy059

What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050 por Kaza Silpa [et al.]. Whashington: World Bank Group, 2018. 272 pp.

Disponible en: <http://hdl.handle.net/10986/30317>

ISBN: 978-1-4648-1347-4

ANEXOS

Anexo 01: Operacionalización de variables

Variables	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores
<p>Biomasa de la larva <i>Alphitobius diaperinus</i></p>	<p>El gusano de la harina menor está bien adaptado para el calor, y para las condiciones húmedas. Es un habitante principal de las aves de corral o criador, encontrándose en los excrementos de aves y en la basura (Domínguez, 2012).</p>	<p>Para poder realizar la biodegradación se tomarán muestras de los diferentes materiales a utilizar, aplicándoles distintos pesos de biomasa de las larvas.</p>	<p>Características Físicas</p>	<p>Masa de la biomasa</p>
<p>Biodegradación del polietileno de baja densidad y el poliestireno expandido</p>	<p>La biodegradación es un proceso que se da a través de organismos vivos (bio) para degradar una sustancia a fragmentos más pequeños o lograr la eliminación completa, en el caso de los plásticos se le llama biodegradación cuando la estructura química sufre cambios significativos en algunas de sus propiedades (Posada, 2012).</p>	<p>Se tomaron como muestras de polietileno de baja densidad: bolsas plásticas; y otra muestra de poliestireno expandido. De las cuales, se pesaron antes y después de la biodegradación, para poder determinar la eficiencia de las larvas.</p>	<p>Eficiencia de la Biomasa</p>	<p>Porcentaje de eficiencia</p> <p>Masa remanente de las muestras</p>

Anexo 02: Validación de datos de las masas, por el laboratorio de biotecnología y microbiología.



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

LABORATORIO DE BIOTECNOLOGÍA Y MICROBIOLOGÍA

TIPO DE ANÁLISIS : Físico
USUARIO : Horna Gil Mónica María Marilú
PROYECTO : Eficiencia de la larva *Alphitobius diaperinus* para la biodegradación del polietileno de baja densidad y el poliestireno expandido
FECHA DE EMISIÓN : 11 de diciembre del 2019

Valores de pesos

Mi=10 gr	DÍA 4	DÍA 8	DÍA 12	DÍA 16	EQUIPO
B1= 50 larvas	9.86 gr	9.70 gr	9.26 gr	8.95 gr	Balanza industrial
B2= 75 larvas	9.74 gr	9.39 gr	8.95 gr	8.69 gr	Balanza industrial
B3= 100 larvas	9.62 gr	9.06 gr	8.62 gr	8.25 gr	Balanza industrial

Dónde Mi: Masa inicial del Poliestireno expandido

Masas de las muestras polietileno de baja densidad tratado con las biomasas

Mi=6.88 gr	DÍA 4	DÍA 8	DÍA 12	DÍA 16	EQUIPO
B1= 50 larvas	6.85 gr	6.78 gr	6.67 gr	6.61 gr	Balanza industrial
B2= 75 larvas	6.83 gr	6.74 gr	6.59 gr	6.49 gr	Balanza industrial
B3= 100 larvas	6.79 gr	6.65 gr	6.46 gr	6.31 gr	Balanza industrial

Dónde Mi: Masa inicial del Poliestireno expandido

 **UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

Ing. Diana Karollina Quiroz Incio
 Laboratorio de biotecnología y microbiología

CAMPUS CHICLAYO
 Carretera Chiclayo Pimentel Km. 3.5
 Telf.: (074) 481616 / Anexo: 6514

fb/ucv.peru
 @ucv_peru
 #saliradelante
 ucv.edu.pe

Anexo 04: Inventario de fotos del proyecto de investigación



Área del galpón donde se recolectaron las excretas



Recolección de la gallinaza



Recolección de muestras para enviar a identificar a SENASA



Alphitobius diaperinus en estadio larvario y adulto



Larvas de *Alphitobius diaperinus* en contacto con la muestra del poliestireno expandido.



Larvas biodegradando el Poliestrieno expandido



Larvas de *Alphitobius diaperinus* biodegradando el PEBD



Estado de pupa del *Alphitobius diaperinus*



Trabajo en el laboratorio pesando las masas de PEBD



Trabajo en el laboratorio pesando las masas del Poliestireno expandido