

UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL



TESIS

**“Evaluación de las condiciones biológicas y ambientales en
Tenebrio molitor que influye en la biodegradación del
poliestireno”**

PARA OPTAR:

TITULO PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

PRESENTADO POR:

Bach. Renza Lucrecia Albarracin Liendo

TACNA – PERÚ

2020

UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL

Tesis

**“Evaluación de las condiciones biológicas y ambientales en
Tenebrio molitor que influye en la biodegradación del
poliestireno”**

Tesis sustentada y aprobada el 09 de enero de 2021; estando el jurado calificador integrado por:

PRESIDENTE: MSc. JOSÉ OSWALDO CAZORLA GALDOS

SECRETARIO: MSc. VICENTE MÁLAGA APAZA

VOCAL: Ing. ANABEL DEL ROSARIO CRISOSTO FUSTER

ASESOR: Blgo. CLAUDIA VANESSA CLAVIJO KOC

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Yo Renza Lucrecia Albarracin Liendo, en calidad de bachiller de la Escuela de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada de Tacna, identificado(a) con DNI 71234187

Declaro bajo juramento que:

1. Soy autor (a) de la tesis titulada:

Evaluación de las condiciones biológicas y ambientales en *Tenebrio molitor* que influye en la biodegradación del poliestireno

la misma que presento para optar el:

Título Profesional de Ingeniero Ambiental

2. La tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, para la cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas.

3. La tesis presentada no atenta contra derechos de terceros.

4. La tesis no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.

5. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falsificados, ni duplicados, ni copiados.

Por lo expuesto, mediante la presente asumo frente a LA UNIVERSIDAD cualquier responsabilidad que pudiera derivarse por la autoría, originalidad y veracidad del contenido de la tesis, así como por los derechos sobre la obra y/o invención presentada. En consecuencia, me hago responsable frente a LA UNIVERSIDAD y a terceros, de cualquier daño que pudiera ocasionar, por el incumplimiento de lo declarado o que pudiera encontrar como causa del trabajo presentado, asumiendo todas las cargas pecuniarias que pudieran derivarse de ello en favor de terceros con motivo de acciones, reclamaciones o conflictos derivados del incumplimiento de lo declarado o las que encontrasen causa en el contenido de la tesis, libro y/o invento.

De identificarse fraude, piratería, plagio, falsificación o que el trabajo de investigación haya sido publicado anteriormente; asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a la normatividad vigente de la Universidad Privada de Tacna.

Tacna, 09 de enero Del 2021



Firma

Nombres y apellidos: Renza Lucrecia Albarracin Liendo

DNI: 71234087

DEDICATORIA

A DIOS.

A mis padres y hermanos, que me apoyaron en todo momento.

A toda mi familia.

A mis catedráticos, por los 5 años de enseñanza.

AGRADECIMIENTO

Primero agradecer a Dios por todo, me permites sonreír ante todos mis logros que son resultado de tu ayuda, y cuando caigo me pones a prueba, aprendo de mis errores y me doy cuenta para mejorar como ser humano, y crezca de diversas maneras.

A papá y mamá por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad; muchos de mis logros se los debo a ustedes entre ellos, este.

Blga Claudia Clavijo, Ing Raul Cartagena e Ing Alejandro Monroy por el apoyo a que este proyecto dé buenos resultados.

CONTENIDO

PÁGINA DE JURADOS	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD	II
DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTO	IV
RESUMEN	VII
ABSTRACT	XII
INTRODUCCION	10
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	11
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	11
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	11
1.2.1. PREGUNTA GENERAL.....	11
1.2.2. PREGUNTA ESPECIFICA	12
1.3. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN	12
1.4. OBJETIVOS	14
1.4.1. <i>Objetivo general</i>	14
1.4.2. <i>Objetivos específicos</i>	14
1.5. HIPÓTESIS	14
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	16
2.1. ANTECEDENTES	16
2.2. BASES TEÓRICAS	19
2.2.1. CONDICIONES BIOLÓGICAS	19
2.2.2. CONDICIONES AMBIENTALES.....	19
2.2.3. DEGRADACIÓN AMBIENTAL.....	20
2.2.4. TEMPERATURA.....	20
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS	20
2.3.1. <i>TENEBRIO MOLITOR</i>	20
2.3.2. ESTADIO DE <i>TENEBRIO MOLITOR</i>	21
2.3.3. USO DE <i>TENEBRIO MOLITOR</i>	21
2.3.4. CICLO DE VIDA	22
2.3.4.1. HUMEDAD	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
2.3.4.2. ECOLOGÍA DE TENEBRIO.....	22
2.3.5. POLIESTIRENO.....	23
CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO	24

3.1.	TIPO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	24
•	TIPO DE INVESTIGACIÓN:	24
3.2.	ACCIONES Y ACTIVIDADES	24
	ETAPA 1: ESTADIO DE LA LARVA <i>TENEBRIO MOLITOR</i>	24
3.3.	MATERIALES Y/O INSTRUMENTOS	27
3.4.	POBLACIÓN Y/O MUESTRA DE ESTUDIO	27
3.5.	TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS.....	27
	CAPÍTULO IV: RESULTADOS	28
	CAPÍTULO V: DISCUSIÓN	40
	CONCLUSIONES	44
	RECOMENDACIONES	45
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46
	ANEXOS	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
	MATRIZ DE CONSISTENCIA	58

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 : *Estadío Larvario de Tenebrio molitor*

Tabla 2 : *Estadísticos Descriptivos en los Tratamientos de los Estadío Larvario*

Tabla 3 : *Análisis de Varianza del Consumo de Poliestireno Según el Estadío Larvario*

Tabla 4 : *Consumo de Poliestireno de Tenebrio molitor en Diferentes Porcentajes de Sustrato*

Tabla 5 : *Estadísticos Descriptivos en los Tratamientos en Diferentes Porcentajes de Sustrato*

Tabla 6 : *Análisis de Varianza del Consumo de Poliestireno en Diferentes Porcentajes de Sustrato*

Tabla 7 : *Consumo de Poliestireno de Tenebrio molitor a Diferentes Temperaturas*

Tabla 8 : *Análisis de Varianza del Consumo de Poliestireno a Diferentes Temperatura*

Tabla 9 : *Estadísticos Descriptivos del Consumo de Poliestireno a Diferentes Temperaturas Promedio, Mediana y Desviación Estándar*

CONTENIDO DE FIGURAS

Figura 1 : *Muestra de Estadío Larvario.*

Figura 2 : *Muestra de Diferentes Porcentajes de Sustrato*

Figura 3 : *Caja y Bigotes del Consumo de Poliestireno en Diferentes Estadíos Larvarios*

Figura 4 : *Consumo de Poliestireno Según el Estadío Larvario*

Figura 5 : *Evolución del Consumo de Poliestireno en el Tratamiento 01 Según el Estadío Larvario*

Figura 6 : *Evolución del Consumo de Poliestireno en el Tratamiento 02 Según el Tamaño Larvario*

Figura 7 : *Evolución del Consumo de Poliestireno en el Tratamiento 03 Según el Tamaño Larvario*

Figura 8 : *Consumo de Poliestireno de Tenebrio molitor en Diferentes Porcentajes de Sustrato*

Figura 9 : *Caja y Bigotes del Consumo de Poliestireno a Diferentes Porcentaje de Sustratos*

Figura 10 : *Evolución del Consumo de Poliestireno en el Tratamiento 01 a Diferentes Porcentaje de Sustrato*

Figura 11 : *Evolución del Consumo de Poliestireno en el Tratamiento 02 a Diferentes Porcentaje de Sustrato*

Figura 12 : *Evolución del Consumo de Poliestireno en el Tratamiento 03 a Diferentes Porcentaje de Sustrato*

Figura 13 : *Consumo de Poliestireno de Tenebrio molitor a Diferentes Temperaturas*

Figura 14 : *Caja y Bigotes del Consumo de Poliestireno a Diferentes Temperaturas*

Figura 15 : *Evolución del Peso de Poliestireno Tratamiento 01 (28° C - 30° C)*

Figura 16 : *Evolución del Peso de Poliestireno Tratamiento 02 (11° C - 22° C)*

Figura 17 : *Evolución del Peso de Poliestireno Tratamiento 03 (16° C - 17° C)*

CONTENIDO DE ANEXOS

Anexo 01: Peso de Poliestireno en Diferentes Temperaturas

Anexo 02: Peso Inicial de Poliestireno, Larva *Tenebrio molitor* y Poliestireno en Diferentes Temperaturas

Anexo 03: Registro de Temperatura

Anexo 04: Peso de Poliestireno en Diferentes Porcentajes de Sustrato

Anexo 05: Peso de Poliestireno en el Estadio Larvario de *Tenebrio molitor*

Anexo 06: Peso de *Tenebrio molitor* en balanza analítica

Anexo 07: Muestras de las Diferentes Temperaturas, Diferentes Porcentajes de Sustrato y Estadío Larvario

RESUMEN

La presente investigación se basa en el comportamiento de la larva *Tenebrio molitor* en la biodegradación poliestireno, evaluando las condiciones biológicas y ambientales. Para esto se determinó los estadios larvarios, la evaluación en diferentes porcentajes de sustrato y determinación en diferentes temperaturas, cada uno de estos tratamientos fueron almacenados en recipientes de plástico y/o vidrio. Se evaluó el consumo de poliestireno por diferentes estadios de la larva de *Tenebrio molitor* catalogándolos en pequeños, medianos y grandes; el tamaño pequeño y mediano consumieron en promedio 0,12 g y 0,11 g en un promedio de 56 días, a diferencia del estadio larvario grande que tuvo un consumo de 0,03 g. En el consumo de poliestireno en diferentes porcentajes de sustrato fue más eficiente en el tratamiento que tuvo una proporción de 15 % a diferencia de los tratamientos con 8 % y 3 %. La temperatura influye en el proceso de biodegradación, a temperaturas superiores a 28 °C, disminuye el consumo de poliestireno y a temperaturas bajas de 11 °C a 20 °C. Es factible manipular las condiciones ambientales y biológicas para lograr un mejor proceso de biodegradación del poliestireno por *Tenebrio molitor*.

Palabras claves: Biodegradación, poliestireno, *Tenebrio molitor*.

ABSTRACT

The present investigation is based on the behavior of the larva *Tenebrio molitor* in polystyrene biodegradation, evaluating the biological and environmental conditions. For this, the larval stages will be determined, the evaluation in different percentages of substrate and determination at different temperatures, each of these treatments were stored in plastic and / or glass containers. The consumption of polystyrene was evaluated by different stages of the larva of *Tenebrio molitor*, cataloging them as small, medium and large; the small and medium size consumed an average of 0.12 g and 0.11 g in an average of 56 days, unlike the large larval stage, which had a consumption of 0.03 g. In the consumption of polystyrene in different percentages of substrate, it was more efficient in the treatment that had a proportion of 15% in contrast to the treatments with 8% and 3%. Temperature influences the biodegradation process, at temperatures above 28 °C, it reduces the consumption of polystyrene and at low temperatures of 11 °C to 20 °C. It is feasible to manipulate the environmental and biological conditions to achieve a better biodegradation process of polystyrene by *Tenebrio molitor*.

Key words: Biodegradation, polystyrene, *Tenebrio molitor*.

INTRODUCCION

Los días pasan y los residuos plásticos se incrementan, la falta de educación ambiental se vuelve una problemática mundial. Los residuos plásticos como el poliestireno, se incrementan al 500% por la coyuntura en la que nos encontramos, este 2020 en plena pandemia, se tomaron medidas de prevención y una de ellas fue la cuarentena. El poliestireno es un material espumado es utilizado como aislamiento acústico y térmico. El Poliestireno Expandido (EPS) se fabrica a partir de perlas de poliestireno expandido formando una estructura cerrada, rellena de aire. El EPS también conocido como porexpan, poliespan, tecnopor o corcho blanco. Siendo un material usado ampliamente en el campo del envasado y embalaje de una gran variedad de productos, teniendo como cualidades y propiedades es la capacidad de protección y de aislamiento, así como su ligereza y facilidad de conformado que le permite adaptarse a las necesidades de cada producto a proteger. Desde el embalaje de un televisor hasta las cajas isotérmicas para el transporte y distribución de pescado pasando por delicados componentes electrónicos, obras de arte, productos farmacéuticos, y un largo etc. como material de envase y embalaje que garantiza su protección hasta su llegada al consumidor final. Sólo el 9 % del plástico usado en el mundo se recicla, el 12 % se incinera y el 79 % de la basura generada por el plástico se encuentra en vertederos o arrojada en medio de la naturaleza. Reducir la producción y uso de plástico es una pieza central y crítica, si queremos abordar con éxito la crisis climática. *Tenebrio molitor* es un insecto comúnmente utilizado para alimento de animales ornato y zoológicos, como alimentación, tiene un gran valor nutritivo, se puede aprovechar y obtener productos como materia prima de tal manera poder realizar subproductos (Sánchez et al., 2020). La evaluación de las condiciones biológicas y ambientales en *Tenebrio molitor* que influye en la biodegradación del poliestireno nos ha reportado, que el coleóptero degrada poliestireno para así poder realizar la investigación científica que está basada en el proceso de biodegradación, donde analizaremos el estadio larvario, diferentes porcentajes de sustrato y diferentes temperaturas. Se busca aportar soluciones en el tema de contaminación por residuos plásticos.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción del problema

En el planeta Tierra, el uso de bolsas al año es de 5 billones, de las cuales 10 millones son usados por minuto. Cada año se vierten hasta 8 millones de toneladas de plástico en el mar. Según la Fundación Ellen MacArthur, si la producción y consumo de plástico permanecen, en 2050: Existirá más plástico que animales marinos en el mar, un 99% de aves marinas habrán ingerido residuos plásticos, la basura marina perjudicará a 600 especies marinas. El 15% de familias afectadas por ingestión y liados con basura marina plástica se encontrarán en riesgo de extinción, más de 300 millones de toneladas de residuos plásticos se originarán anualmente, los residuos plásticos se han encontrado en la cumbre del monte Everest, casquetes polares y lugares más profundos del mar, las medusas confunden a sus alimentos con los residuos plásticos u otros alimentos por las especies marinas; en junio del 2018, apareció un cachalote muerto en las costas de España, se encontró en su interior 32 kilos de bolsas plásticas, redes y un tambor. Los sorbetes o aros de plásticos de botellas de latas dañan físicamente a los animales, por tal motivo tenemos resultados mortales. Muchos de los animales marinos confunden su alimento con plástico, siendo acumulativo en su organismo y llega a magnificarse cuando otros seres vivos quieren ingerirlo. Existe un mal manejo de residuos sólidos a nivel local, nacional y mundial generando un impacto en los ecosistemas acuáticos, y gran parte de la contaminación es por el poliestireno expandido.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Pregunta General

¿Cuáles son las condiciones biológicas y ambientales que influyen en la biodegradación de poliestireno por las larvas del coleóptero *Tenebrio molitor*?

1.2.2. Pregunta Especifica

¿Existe diferencia significativa del estadio larvario de *Tenebrio molitor* para la biodegradación de poliestireno?

¿Cómo influye el sustrato orgánico en el desarrollo larva *Tenebrio molitor* para la biodegradación de poliestireno?

¿Cómo influye la temperatura en la biodegradación de poliestireno por la larva de *Tenebrio molitor*?

1.3. Justificación e importancia de la Investigación

- **Política**

- Ley N° 28611 – Ley General del Ambiente.
- Ley N° 30754 – Ley Marco sobre Cambio Climático.
- Ley N°30884 – Ley que regula el plástico de un solo uso y los recipientes envases descartables.

- **Económica**

- Para el año 2030, todos los envases de plástico existentes deberán ser reutilizables o deberán poder reciclarse de manera rentable.
- La capacidad de reciclaje de plásticos se ampliará y modernizará significativamente. Para 2030, la capacidad de clasificación y reciclaje debe haberse cuadruplicado desde 2015, lo que ha conllevará la creación estimada de 200.000 nuevos puestos de trabajo.
- Gracias a la mejora de la recolección separada y la inversión en innovación, habilidades y aumento de capacidades, la exportación de desechos de plásticos mal clasificados se deberá haber eliminado. Los plásticos reciclados se convertirán en una materia prima cada vez más valiosa para las industrias.
- La cadena de valor del plástico estará mucho más integrada, y la industria química colaborará estrechamente con los recicladores de plásticos para ayudarlos a encontrar aplicaciones más amplias y de mayor valor para su

producción. Las sustancias que dificultan los procesos de reciclaje serán reemplazadas o eliminadas.

- El mercado de plásticos reciclados e innovadores será un mercado de éxito, con claras perspectivas de crecimiento a medida que más productos incorporen contenido reciclado. La demanda de plásticos reciclados en Europa se multiplicará por cuatro, proporcionando un flujo estable de ingresos para el sector del reciclaje y la seguridad laboral para su creciente fuerza de trabajo.

- **Social**

En 1925, decidieron ensamblar varias moléculas de estireno unas con otras, a ese proceso se le denomina polimerización. A tal producto final se llama poliestireno, el científico alemán alemán, el Dr. Strasky, del grupo químico alemán BASF, por primera vez efectuó la primera expansión del poliestireno, asimismo dándole vida al poliestireno expandido. Este elemento derivado de polímeroses utilizado, tanto en empaquetado, edificación, etc (Castañeda-Rojas et al., 2020).

A nivel mundial, el 50% del total son residuos de un solo uso. Recientemente, se descubrió una isla de todo el plástico que llegaba al océano, entre las costas de Perú y Chile. Teniendo una superficie aproximada de 2.6 millones de kilómetros cuadrados (Espinoza Arias, 2019).

- **Tecnológica**

El poliestireno es uno de los principales contaminantes y la degradación natural lleva mucho tiempo, sin embargo hay evidencia de la biodegradación del poliestireno por larvas de escarabajos de la especie de *Tenebrios*, siendo uno de los más eficientes el *Tenebrio molitor*, en este trabajo se evaluarán algunos factores que pueden influir en el proceso de biodegradación del poliestierno y poder generar tecnologías eficientes para disminuir la cantidad de poliestiereno que llega principalmente a ambientes acuáticos.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

- Evaluar las condiciones biológicas y ambientales de *Tenebrio molitor* que influyen en la biodegradación de poliestireno.

1.4.2. Objetivos específicos

- Determinar los estadios de la larva de *Tenebrio molitor* para la biodegradación del poliestireno.
- Evaluar la necesidad de un sustrato orgánico adicional para la larva *Tenebrio molitor* para biodegradación de poliestireno.
- Determinar la temperatura ambiental adecuada para la biodegradación de poliestireno por la larva *Tenebrio molitor*.

1.5. Hipótesis

1.5.1. Hipótesis General

- Las condiciones biológicas y ambientales influyen en la biodegradación de poliestireno utilizando la larva *Tenebrio molitor*.

1.5.2. Hipótesis Específico

- Existen diferencias significativas en el estadio larvario de *Tenebrio molitor* para la biodegradación de poliestireno.

- La proporción de poliestireno y alimento influye en la biodegradación de la larva *Tenebrio molitor*.
- La temperatura ambiental adecuada será de 15 a 20 C° para la biodegradación de poliestireno para la larva de *Tenebrio molitor*.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. Antecedentes Internacionales

Tenebrio molitor es una de las plagas más grandes que se encuentran en los productos almacenados en grano. El insecto es autóctono de Europa, pero actualmente tiene una distribución cosmopolita. La espuma de poliestireno se degrada eficazmente en el intestino de las larvas por los microorganismos (Božek et al., 2017). Esta larva tiene un valor nutricional, contiene una excelente fuente de minerales tales como fósforo, magnesio y zinc (Costa et al., 2020). La eficiencia de *Tenebrio molitor* y otra larva, luego de un análisis de días se concluyó que existía una disminución de peso de poliestireno, existiendo un alto nivel de biodegradabilidad (Espinoza Pinchi, 2018). Puede digerir muchos tipos de desechos orgánicos y transformarlos en abono orgánico con niveles reducidos de contaminantes (Gao et al., 2010).

Se observó que algunos miembros de la familia Tenebrionidae (escarabajos) pueden comer poliestireno. Pero, se desconoce el impacto que esta “dieta” pueda tener en el desarrollo de los individuos (Jacobo et al., 2019).

En *T. molitor*, la evolución temporal de la reaclimatación a 25 C° después de los tratamientos a 15 C° y 35 C° al 75% de HR fue más largo que el tiempo de aclimatación, y varió de 3 a 6 días para CT max y 6 días para CT min (Allen et al., 2012).

Teniendo como conclusión que el escarabajo *Tenebrio molitor* puede consumir poliestireno en su fase de larva y adulto, sin que esta “dieta” comprometa significativamente su supervivencia. No obstante, los individuos en fase larvaria alimentados con poliestireno (dieta mala) alcanzan la siguiente fase en menor tiempo que las larvas alimentadas con salvado de trigo y harina de maíz (Jacobo et al., 2019).

Según Peng et al. (2019), la secuenciación de alto rendimiento reveló cambios significativos en la comunidad microbiana intestinal en ambas especies de *Tenebrio* que se asociaron con la dieta PS y la biodegradación de PS, con cambios en tres familias predominantes (Enterobacteriaceae, Spiroplasmataceae y Enterococcaceae). Los resultados indican que la biodegradabilidad del PS puede ser ubicua dentro del género *Tenebrio*, lo que podría proporcionar una biodegradación para la biodegradación de residuos plásticos. (Peng et al., 2019)

Los gusanos de la harina alimentados con salvado y PS completaron todas las etapas del ciclo de vida (larvas, pupas, escarabajos, huevo) y la segunda generación tuvo una degradación favorable de PS, lo que abrió la puerta a la reproducción selectiva (Yang et al., 2021).

El comportamiento de alimentación de las larvas de *Tenebrio molitor* se ha estudiado desde el punto de vista del concepto moderno de que los insectos fitófagos pueden requerir un fagoestimulante para su alimentación normal. Se demuestra que las larvas de *Tenebrio* discriminan entre diferentes partes del grano de trigo, prefiriendo el salvado, y que cuando este se consume todo el total ingerido desciende notablemente. Se ofrece evidencia de que esto no es un efecto nutricional sino una verdadera respuesta a un estímulo alimenticio (Murray, 1960).

Brinda aportes a este trabajo investigativo pues, en primera medida permite reconocer que la especie *Tenebrio molitor*, mediante la acción de diferentes organismos de su flora microbiana intestinal, lleva cabo un proceso de biodegradación de Poliestireno (PS) de forma favorable. Finalmente, los resultados de esta investigación indican que la biodegradabilidad de PS, puede que sea un factor particular de este género *Tenebrio*, lo cual, a nivel del problema ambiental por plásticos, puede ser un aporte, pues se proporciona una fuente biológica, natural y amigable con el ambiente, como lo es la biodegradación de residuos plásticos (Álvares et al., 2020).

De una estrategia didáctica que se realizó en un colegio, donde se implementó y desarrollo en un aula de colegio, dando aportes a su institución crearon una cartilla “*Tenebrio molitor*: un gusano antiplástico” (González Álvarez et al., 2020).

2.1.2. Antecedentes Nacionales

Analizando nuevas alternativas con resultados importantes que permitan mitigar la gran problemática por la contaminación de plástico, con esto se busca analizar a la larva *Tenebrio molitor* degradando el poliestireno y la relación que tiene con la Biotecnología Ambiental (Álvarez Estepa & Botache Laguna, 2020). Considerar que la disposición de residuos plásticos es incorrecta ya que ocasiona un montón de problemas (Costa & Silva, 2018).

La larva *Tenebrio molitor* cumplirá un papel importante en la biodegradación del poliestireno. Se toman dos beneficios por parte del gusano de la harina que es la biodegradación del material y el uso de la excreta como un residuo seguro para utilizarse en plantas , los resultados señalan un peso de biodegradación escaso del EPS pero con presencias eficientes por parte de la variedad durante el desarrollo, además se muestran nutrientes en el excremento que se aprecian por las diferentes circunstancias del cuidado como el canibalismo, restos de muda (piel) y cambio de fase a pupa (Yance et al., 2017).

Por lo tanto, Chavesta Saavedra et al. (2019), indica que el gorgojo negro *Tenebrio molitor* tiene la capacidad de poder degradar el poliestireno por lo que posee en su tracto digestivo la bacteria *Exiguobacterim sp.* Convirtiendo el Poliestireno en 50% de CO₂ y el resto como residuo orgánico, obteniendo los siguientes resultados que se realizó semanalmente fueron favorables ya que se pudo notar que en los estadios larvales pequeños y medianos se ha consumido en mayor cantidad el poliestireno, degradando en un 80 y 86% en un periodo de 28 días. Concluyendo así, que el *Tenebrio molitor* tiene la capacidad de poder degradar poliestireno gracias a la microbiota que

presenta la Larva, siendo capaz de poder metabolizar este producto sintético.

La reservación de las características efectos biológicos de las larvas de *Tenebrio molitor* cuando se usa como un organismo que degrada la espuma de poliestireno (EPS), verificar la proporción de la cantidad de larvas necesarias para biodegradar una masa dada de espuma de poliestireno (EPS) en un momento dado.

2.1.3. Antecedentes Locales

En la investigación de Calisaya (2019), se realizó la evaluación a polietileno como alimento de la larva *Galleria mellonella* como alternativa en la biodegradación, donde se concluye que la larva de *Galleria mellonella*, no es capaz de utilizar el polietileno como alimento, esto limitaría su uso inmediato como un agente biodegradador de polietileno.

Mientras que, Gutiérrez (2019) describe el aislamiento y la actividad de biodegradación de microorganismos sobre polietileno de baja densidad. Se aislaron cepas, identificadas como *Bacillos sp*, *Acinetobacter sp*, *Pseudomonas sp*, *Flavobacterium sp*, *Micrococcus sp*, *Rhodotorula sp*, *Penicillium vanoranjei*, *Aspergillus sp*, *Saccharomyces cereviceae* y dos no identificadas.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Condiciones biológicas

Aquello que es inherente aun ser natural, sea este el que sea y en función de su tipología, raza, etc.

2.2.2. Condiciones ambientales

Conjunto de parámetros utilizados para el dimensionamiento de ventilación y refrigeración. Las condiciones ambientales suelen incluir temperatura, humedad y presión atmosférica.

2.2.3. Degradación ambiental

La degradación ambiental es el daño del medio ambiente a través la debilitación de recursos como aire, agua y suelo; la demolición de ecosistemas; la demolición del hábitat, la muerte de la vida silvestre; y la contaminación. Se determina como cualquier transformación o perturbación del ambiente que se nota como dañino o indeseable (Fernández, 1996).

2.2.4. Temperatura

Según Max Planck, "*temperatura es el grado de calor o frío de un cuerpo*". Para R.H. Fowler, "*es que, dados tres cuerpos A, B y C, si A y C se encuentran en equilibrio térmico con B, entonces A y C también se encuentran en equilibrio térmico entre si*". Esta definición es conocida como ley cero de la Termodinámica.

2.3. Definición de términos

2.3.1. *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 entomofagia, de color casi negro, de aproximadamente 18 mm de largo y 4mm de ancho; su cuerpo es compacto con bordes casi paralelos. Vive en harinas y subproductos de granos (Artigas, 1994).

Taxonomía

Reino: Animalia

Filo:	Arthropoda
Clase:	Insecta
Orden:	Coleoptera
Familia:	Tenebrionidae
Género:	<i>Tenebrio</i>

2.3.2. Estadio de *Tenebrio molitor*

Según Artigas (1994), los diferentes estados del escarabajo molinero se presentan con:

- **Huevo:** 10 días de incubación. Al primer día los huevos son translúcidos con una cubierta lisa muy frágil.
- **Larva:** La fase larva dura aproximadamente unos 2 a 3 meses, llegando a su estado de madurez y cambia su piel.
- **Pupa o ninfa:** 20 días el estado de ninfa endurecida, en forma de triángulo curvada y sin movilidad.
- **Escarabajo joven:** Las pupas se desarrollan en escarabajos, viven aproximadamente de 2 a 3 meses, nacen color marfil y a los 2-3 días son negro marrón.
- **Escarabajo adulto:** es un escarabajo negro de hábito nocturno, sexualmente maduro a los 10 - 12 días. Después de 5 meses completa su ciclo de vida.

2.3.3. Uso de *Tenebrio molitor*

Se destacan las siguientes utilidades de larvas de *Tenebrio molitor*:

- Mantenimiento de mascotas en hogares, como suplemento alimenticio (Tortugas, iguanas, serpientes, erizos, aves); entre otros.
- Recuperación de animales convalecientes.
- Desarrollo de gallos de pelea.

- Elaboración de harinas a partir de la larva (Artigas, 1994).

2.3.4. Ciclo de vida

En condiciones de vida libre las hembras ovipositan alrededor de 580 huevos durante su vida el período de ovoposiciones variable, dependiente de las condiciones del medio y el alimento, fluctuando entre 25 y 140 días. Los huevos son dispuestos en grupos, éstos son blancos, de forma ligeramente arriñonada, semejante a un frijol de 1.8 mm de largo, cubiertos de una sustancia pegajosa a la cual se adhiere el sustrato. El período de incubación tarda entre 5 y 20 días dependiendo de la temperatura (5 días a 24°C y 20 días a 15°C. Su crecimiento máximo es entre los 89 y 100 días, después de cambiar entre 9 y 18 veces; en esta forma permanecen activas alimentándose del sustrato hasta mediados de primavera, cuando pupan libremente entre el sustrato (en Chile central desde mediados de octubre), En este estado permanecen entre 12 y 16 días, luego emergen como adultos se produce hasta fines de primavera (Guerrero, 2001).

2.3.4.1. Temperatura

La temperatura es una variable muy importante en el desarrollo de los artrópodos, los anélidos y en general en todo ser vivo, por lo que el control de esta variable en el tenebrio molitor desempeña un papel muy importante en el desarrollo de su ciclo de vida (Tejeda et al., 2018)

2.3.4.2. Ecología de tenebrio

Las temperaturas inferiores -12°C y superiores a 41°C son letales para la especie. En la zona central de Chile los adultos emergen a principios de noviembre. En general se estima una generación anual, pero bajo condiciones especiales, una generación puede tomar dos

años, dilatando especialmente el tiempo de larva en último estadio. Tolera bien el ayuno. En todos los estados evitan la luz, prefiriendo lugares quietos y oscuros. Los tenebrios viven, crecen y se reproducen sin inconveniente cuando la temperatura se mantiene de 22° a 28°C. No se han registrado parásitos de importancia. (Castro-Herrera, 2010)

2.3.5. Poliestireno

Es un elemento termoplástico es maleable al calor existen diferentes tipos de poliestireno el telgopor y el poliestireno de cristal. Su creación data de la década de los años 30 en Alemania y actualmente es uno de los plásticos más utilizados en el mundo, produciéndose millones de toneladas por ser utilizado en envases térmicos y el embalaje de artículos (López et al., 2013)

El EPS (poliestireno expandido), es un Hidrocarburo de cadena larga con un 95 % de Poliestireno y 5 % gas pentano (antes de la expansión), presenta la formula química C_8H_8 ; tiene una densidad $> 19 \text{ kg/m}^3$ con una conductividad térmica $10 \text{ }^\circ\text{C} > 35 \text{ mw/m.k}$, tiene una resistencia a compresión $10\% > 100 \text{ kpa}$ y una resistencia a la tracción $> 150 \text{ kpa}$ Flexión $> 150 \text{ kpa}$ (Espinoza Pinchi., 2018)

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tipo y diseño de la investigación

- **Tipo de investigación:**

Investigación aplicada: investigación que busca la incubación de conocimiento con practica directa a las cuestiones de la comunidad. Especialmente de los descubrimientos tecnológicos de la investigación básica, ocupándose del desarrollo de enlace entre la teoría y el producto.

- **Diseño de la investigación:**

Experimental: es cualquier averiguación ejecutada con un planteamiento científico, donde un conjunto de variables se mantiene insistente, mientras que el otro conjunto de variables se mide como sujeto del experimento.

3.2. Acciones y actividades

ETAPA 1: Estadio de la larva *Tenebrio molitor*

- Almacenamiento en envases de plástico con dimensiones aproximadas de 10 x 10 cm.
- Las muestras de *Tenebrio molitor* como material biológico, se adquirieron en tiendas agroveterinarias, las cuales se venden como alimento de aves.
- Los tenebrios serán distribuidos en tres muestras diferentes, considerando en tamaños grandes, medianos y pequeños.

- Cada uno de los envases tendrá sustrato y poliestireno, señalando que las muestras tendrán los mismos pesos.
- El control se realizó semanalmente.

Figura 1

Muestra de Estadío Larvario



Nota. Elaboración propia

ETAPA 2: Evaluación a la necesidad de sustrato orgánico

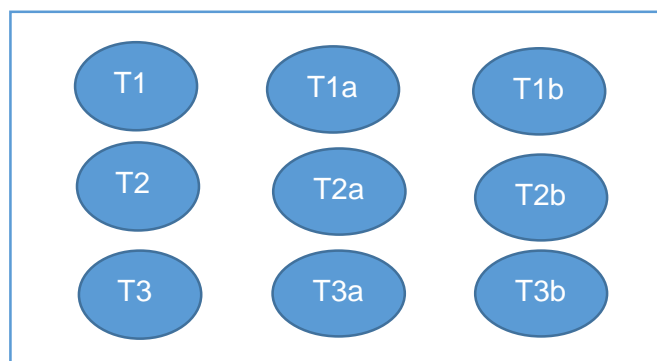
- Se construyeron los invernaderos en donde se llevó el control del estadio de la larva *Tenebrio molitor*, el material de lo mencionado fue vidrio en forma de cubo de 10 x 10 cm y se dejaron en un ambiente que contaba con una temperatura promedio 22° C máx. y 19,3° C mín. y una humedad de 80 % máx. y 70 % mín.
- Los *Tenebrios molitor* como material biológico, se adquirió en una tienda de agroveterinarias, las cuales se venden como alimento de aves, reptiles y peces. Adicionalmente, son empleadas para crianza de granjas de insectos, sobre todo para alimento vivo.
- Se suministró de alimento salvado de trigo con diferente peso en las muestras T1, T2 y T3. Cabe mencionar que cada muestra contiene dos contra muestra.
- El control del peso del poliestireno se realizó cada semana para calcular la efectividad de la larva *Tenebrio molitor* y así determinar el estadio más eficiente.
- Asimismo, se observa que la larva *Tenebrio molitor* tiene como característica que son pequeñas en forma cilíndrica, de color

amarillo y mientras pasaban los días fueron mudando de piel a lo largo de su crecimiento.

- La masa inicial de tenebrios en 13 gramos que corresponde aproximadamente 100 *Tenebrio molitor*.
- La cantidad inicial del salvado de trigo es de 20, 25 y 30 gramos en T1, T2 y T3 respectivamente.
- La cantidad de poliestireno en las muestras fue de 1, 2 y 3 gramos en T1, T2 y T3 respectivamente.
- Se tuvo un monitoreo de las condiciones climáticas por día en el proceso de estadio de la larva *Tenebrio molitor*.

Figura 2

Muestra de Diferentes Porcentajes de Sustrato



Nota. Elaboración propia

ETAPA 3: Determinación de la temperatura ambiental.

- Elaboración de una incubadora casera para llevar el control de temperatura de la larva *Tenebrio molitor*, adicionando el termohigrómetro.
- Evaluación continua de la larva *Tenebrio molitor* respecto a la disminución del poliestireno teniendo a:

T1, T1a y T1b – 28° C a 30° C

T2, T2a y T2b – 22° C a 25° C

T3, T3a y T3b – 20° C a 22° C

3.3. Materiales y/o instrumentos

Instrumentos

- Balanza analítica
- Incubadora casera
- Termohigrómetro

Materiales:

- 12 Peceras de vidrio
- 24 recipientes de plástico
- Sustrato orgánico
- *Tenebrio molitor*

3.4. Población y/o muestra de estudio

Muestra no probabilística. Es una técnica de muestreo en la cual el investigador selecciona muestras basadas en un juicio subjetivo en lugar de hacer la selección al azar.

3.5. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

El análisis de datos es cuantitativa, descripción del tratamiento estadístico a través de gráficos, tablas, cuadros, diagramas.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

Tabla 1

Estadío Larvario de Tenebrio molitor – Tamaño Promedio

Tratamiento	Tamaño Larvario
Tratamiento 01	Grande (2.75 cm)
Tratamiento 02	Mediano (2.00 cm)
Tratamiento 03	Pequeño (1.25 cm)

Tabla 2

Estadísticos Descriptivos para el consumo de poliestireno en los Tratamientos de los Estadío Larvario

	Tratamiento 01	Tratamiento 02	Tratamiento 03
Promedio	0,034	0,117	0,122
Mediana	0,014	0,122	0,126
Desviación Estándar	0,044	0,027	0,008

Tabla 3

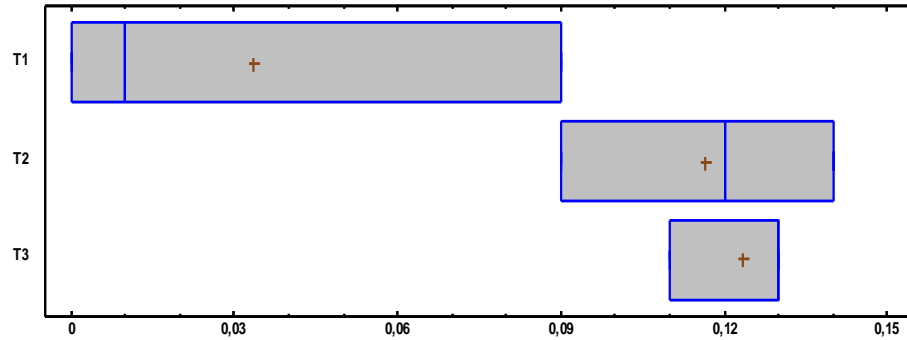
Análisis de Varianza del Consumo de Poliestireno Según el Estadío Larvario

Fuente	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre Grupos	0,02	2	0,0075	7,07	0,03*
Intra Grupos	0,01	6	0,0010		
Total (Correlación)	0,02	8			

Nota. Diferencia significativa $p < ,05^*$

Figura 2

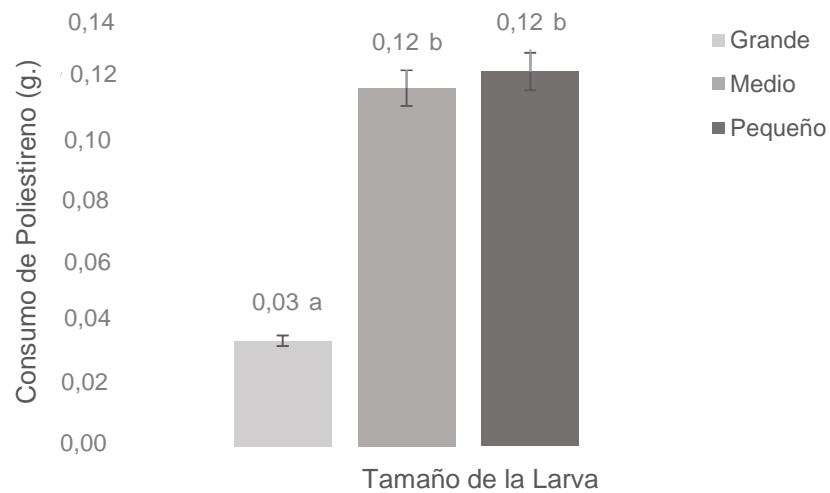
Caja y Bigotes del Consumo de Poliestireno en Diferentes Estadios Larvarios



Nota. Software Stat Graphics Centurion VII

Figura 4

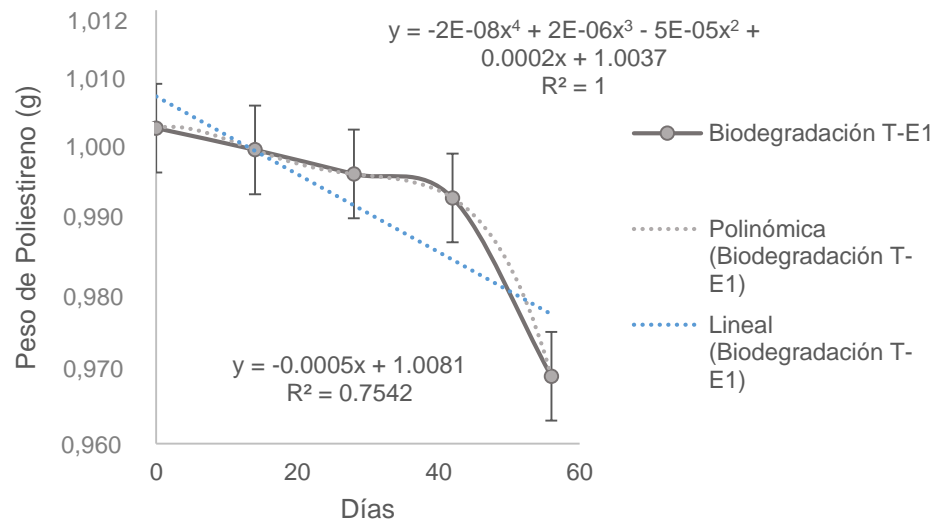
Consumo de Poliestireno Según el Estadio Larvario



Nota. Análisis de Duncan, diferentes letras es diferencia significativa entre las medias de los tratamientos $p < ,05$

Figura 5

Evolución del Consumo de Poliestireno en el Tratamiento 01 Según el Estadío Larvario

**Figura 6**

Evolución del Consumo de Poliestireno en el Tratamiento 02 Según el Estadío Larvario

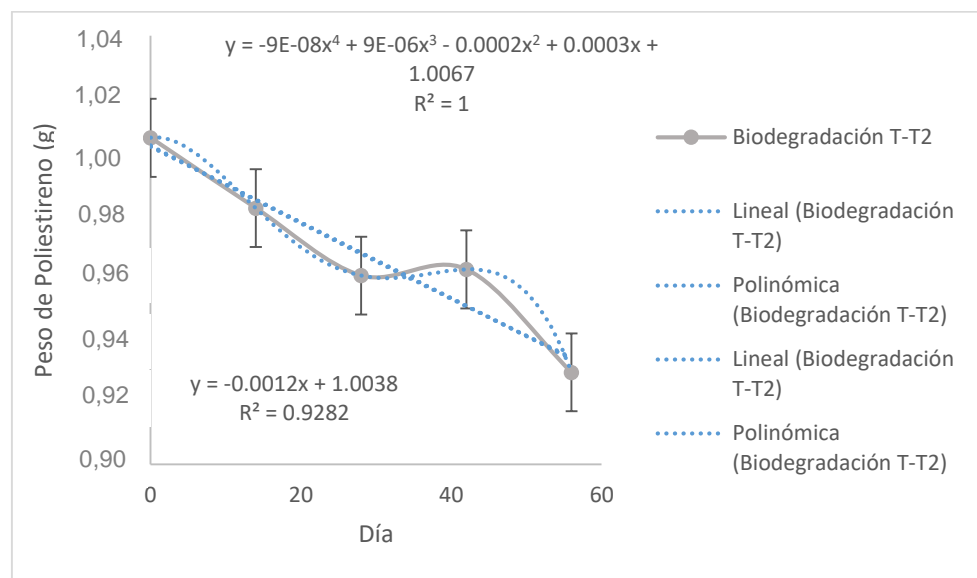
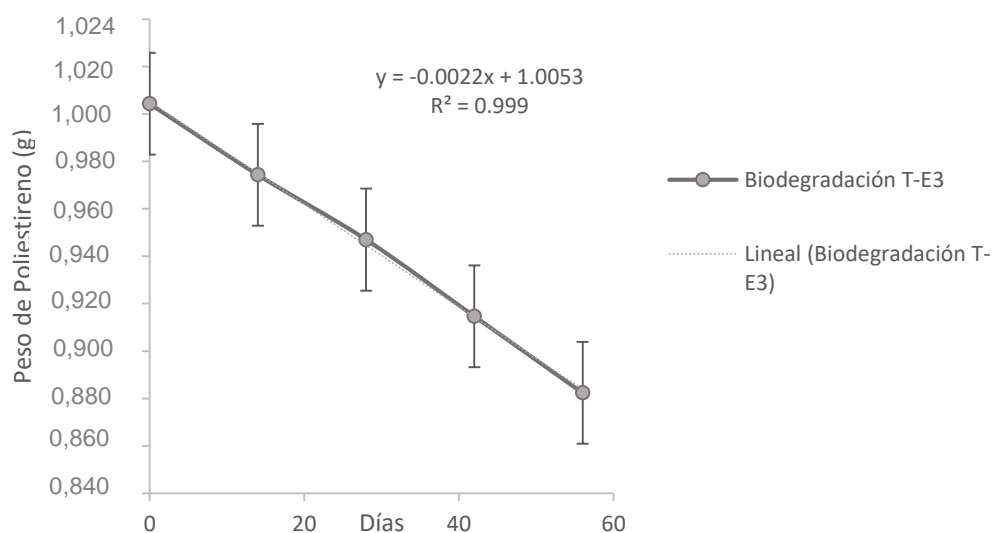


Figura 7

Evolución del Consumo de Poliestireno en el Tratamiento 03 Según el Tamaño Larvario

**Tabla 4**

Consumo de Poliestireno de Tenebrio molitor en Diferentes Porcentajes de Sustrato

Tratamientos	Sustrato	Poliestireno	%
Tratamiento 01	20	3	15
Tratamiento 02	25	2	8
Tratamiento 03	30	1	3

Tabla 5

Estadísticos Descriptivos en los Tratamientos en Diferentes Porcentajes de Sustrato

Estadísticos	Tratamiento 01	Tratamiento 02	Tratamiento 03
Descriptivos			
Promedio	0,42	0,27	0,19
Mediana	0,42	0,30	0,23
Desviación Estándar	0,003	0,056	0,085

Tabla 6

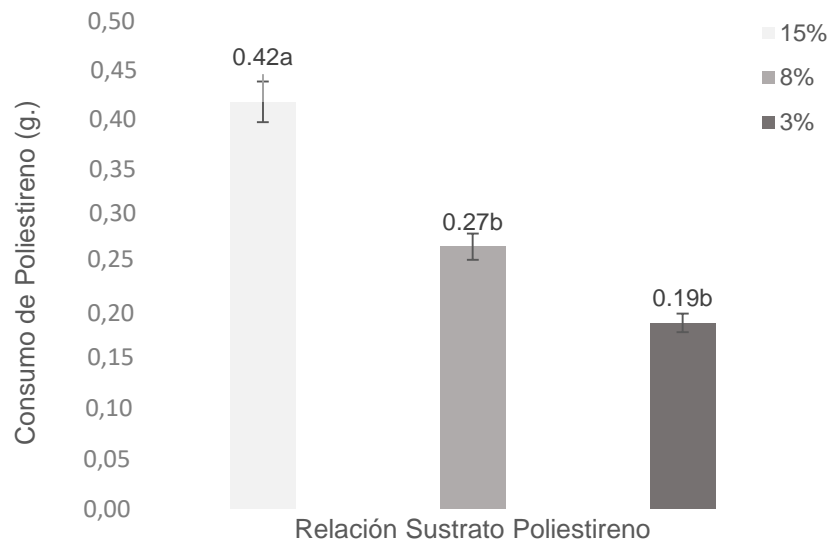
Análisis de Varianza del Consumo de Poliestireno en Diferentes Porcentajes de Sustrato

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0,080	2	0,040	11,58	0,01
Intra grupos	0,021	6	0,003		
Total (Corr.)	0,101	8			

Nota. Diferencia significativa $p < ,05^*$

Figura 8

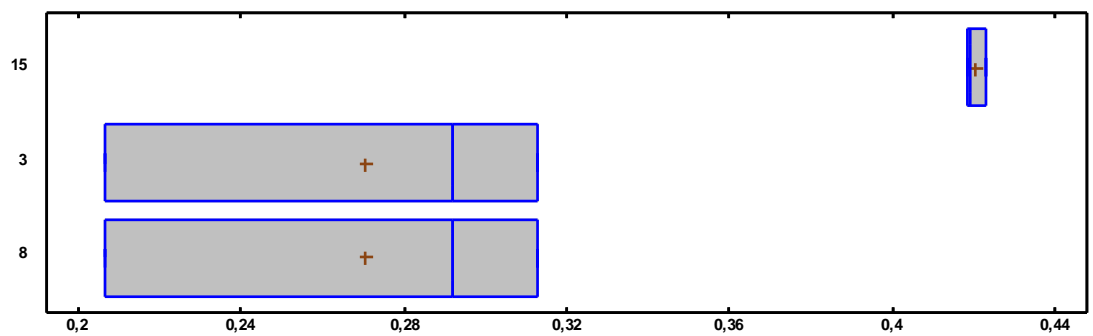
Consumo de Poliestireno de Tenebrio molitor en Diferentes Porcentajes de Sustrato



Nota. Análisis de Duncan, diferentes letras es diferencia significativa entre las medias de los tratamientos $p < ,05$

Figura 9

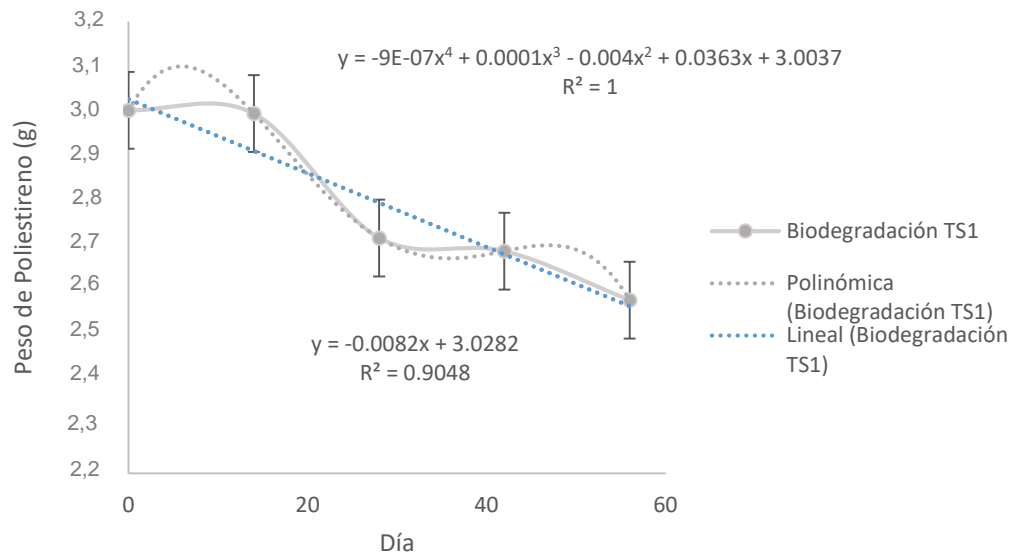
Caja y Bigotes del Consumo de Poliestireno a Diferentes Porcentaje de Sustratos



Nota. Elaborada en Stat Graphic Centurión VII

Figura 10

Evolución del Consumo de Poliestireno en el Tratamiento 01 a Diferentes Porcentaje de Sustrato

**Figura 11**

Evolución del Consumo de Poliestireno en el Tratamiento 02 a Diferentes Porcentaje de Sustrato

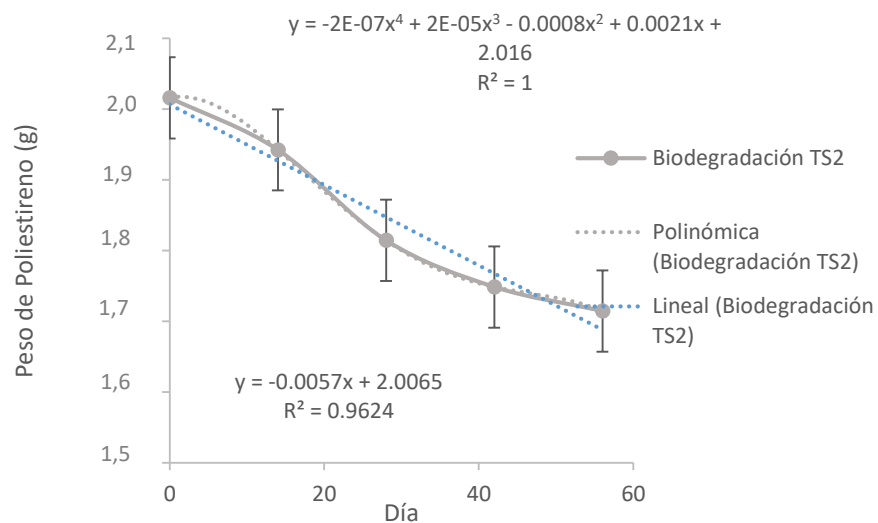
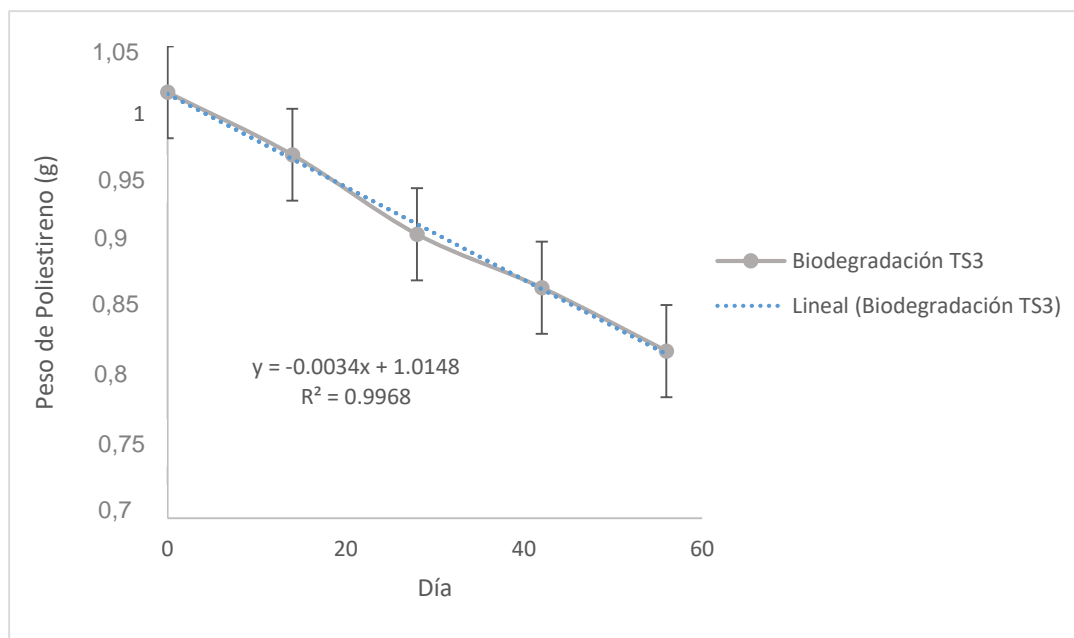


Figura 12

Evolución del Consumo de Poliestireno en el Tratamiento 03 a Diferentes Porcentaje de Sustrato

**Tabla 7**

Consumo de Poliestireno de *Tenebrio molitor* a Diferentes Temperaturas

Tratamiento	Temperatura
Tratamiento 01	28° C – 30° C
Tratamiento 02	16° C – 21° C
Tratamiento 03	11° C - 22° C

Tabla 8*Análisis de Varianza del Consumo de Poliestireno a Diferentes Temperatura*

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0,0039	2	0,0019	6,19	0,035*
Intra grupos	0,0019	6	0,00032		
Total (Corr.)	0,0058	8			

Nota. *Diferencia Significativa

Tabla 9

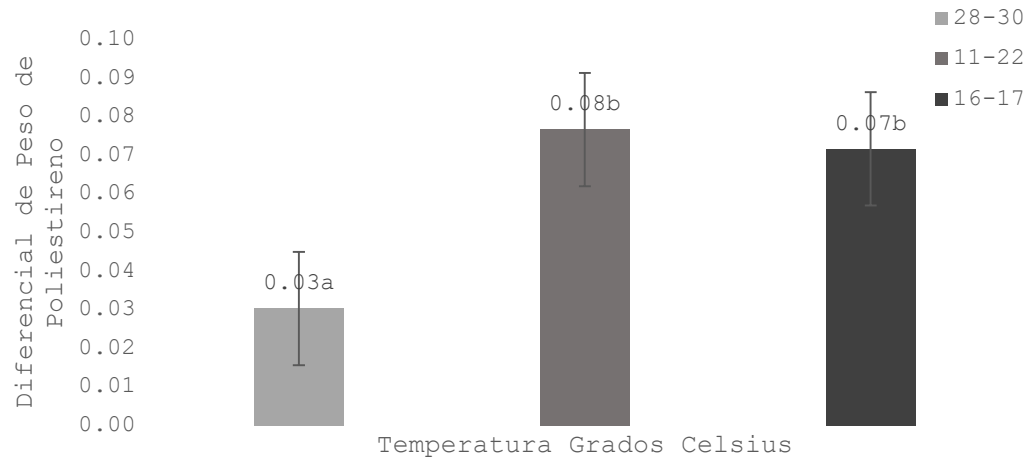
Estadísticos Descriptivos del Consumo de Poliestireno a Diferentes Temperaturas

Promedio, Mediana y Desviación Estándar

Estadístico Descriptivo	Tratamiento 01	Tratamiento 02	Tratamiento 03
Promedio	0,03	0,08	0,07
Mediana	0,03	0,08	0,07
Desviación Estándar	0,01	0,01	0,03

Figura 13

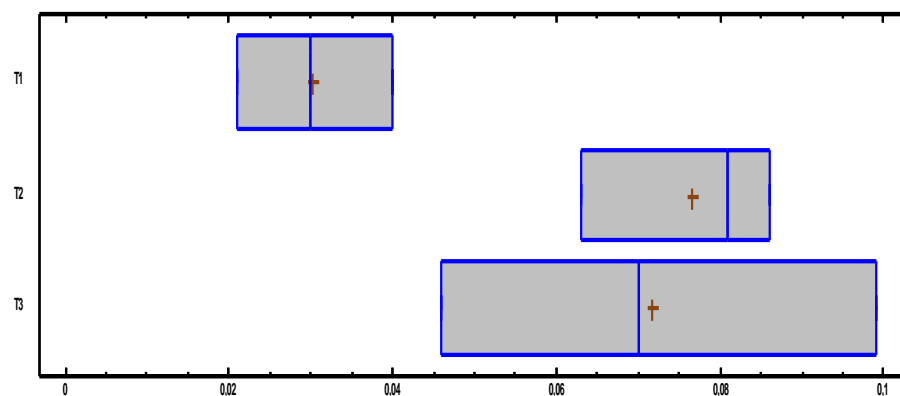
Consumo de Poliéstireno de Tenebrio molitor a Diferentes Temperaturas



Nota. Análisis de Duncan, diferentes letras es diferencia significativa entre las medias de los tratamientos $p < ,05$

Figura 14

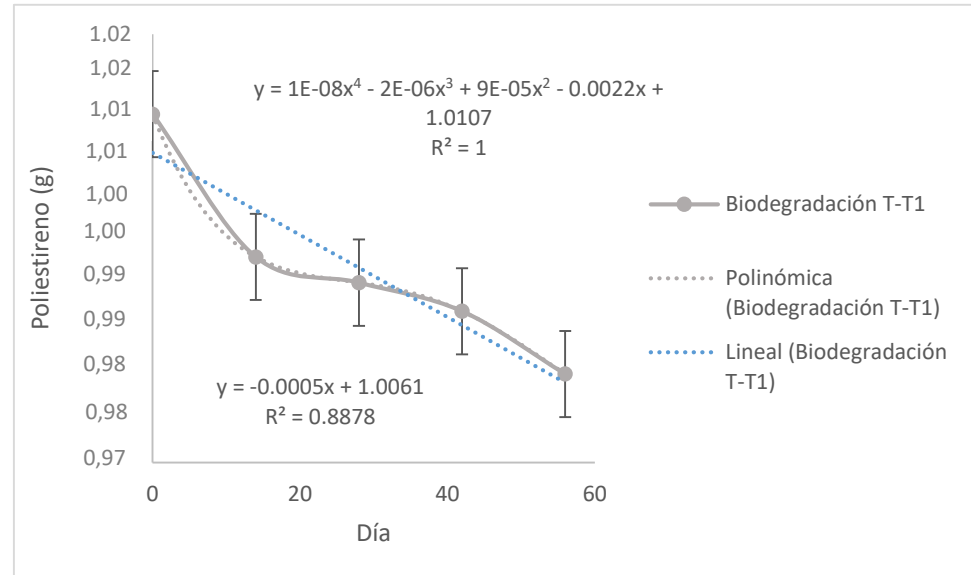
Caja y Bigotes del Consumo de Poliéstireno a Diferentes Temperaturas



Nota. Elaborada en Stat Graphic Centurión XVII

Figura 15

Evolución del Peso de Poliestireno Tratamiento 01 (28° C - 30° C)

**Figura 16**

Evolución del Peso de Poliestireno Tratamiento 02 (16° C - 21° C)

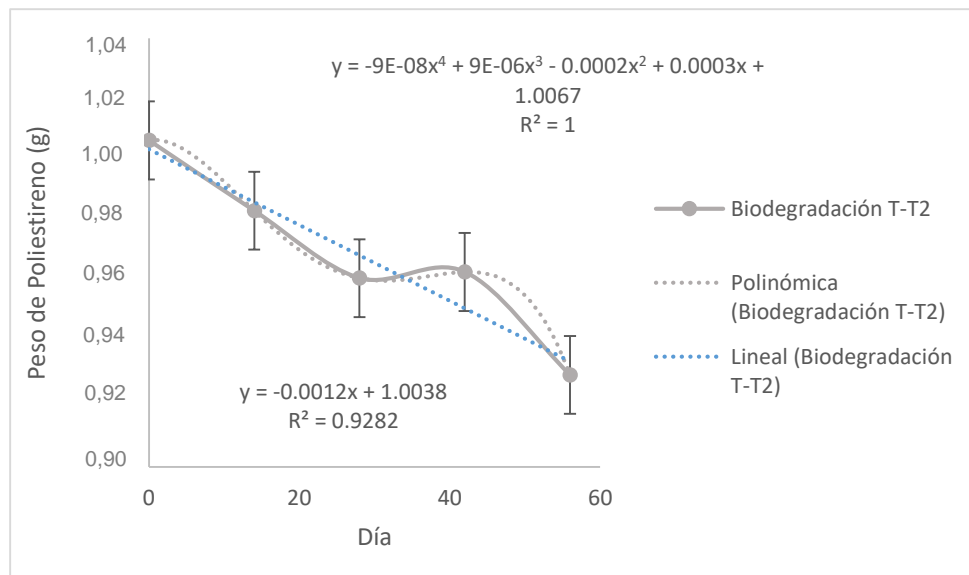
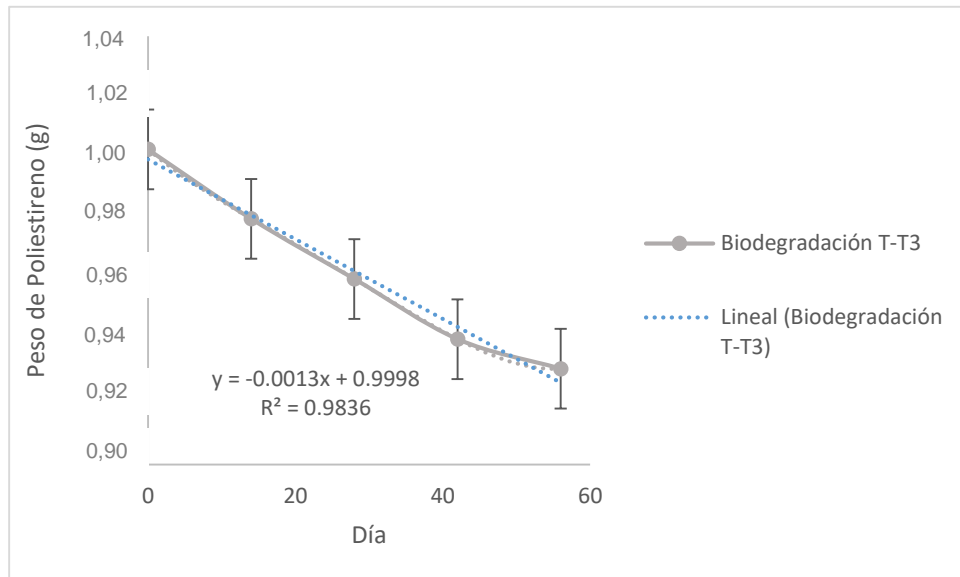


Figura 17

Evolución del Peso de Poliestireno Tratamiento 03 (11° C - 22° C)



CAPÍTULO V: DISCUSIÓN

En la Tabla 1 se describe el estadio larvario con promedio de tamaños de las larvas y se catalogaron en grandes con un promedio de 2,75 cm; mediano con 2 cm y pequeño con 1,25 cm. El mayor consumo promedio de poliestireno fue en el tratamiento 03 el cual trabajó con el tamaño más pequeño de tenebrios (Tabla 2), en este tratamiento la variabilidad de los promedios fue menor comparado con los otros tratamientos (Figura 3).

En la Tabla 3 se realizó el análisis de varianza dando un p valor de 0,03 que indicó diferencias significativas entre los tratamientos validando nuestra hipótesis sobre la existencia de diferencias significativas del consumo de poliestireno según el tamaño de la larva con un nivel de significancia de 95 % , asimismo se evidenció que el consumo de poliestireno por tamaño de larvas es menos eficiente en larvas de tamaño grande, teniendo en cuenta que en todos los tratamiento había un peso similar de los tenebrios. El tratamiento de tenebrios de tamaño grande tuvo un promedio de consumo de 0,03 g de poliestireno en los 56 a diferencia de los tratamientos medianos y grandes con un promedio de 0,12 g; no se observó diferencia significativa entre los tratamientos de tamaño medio y pequeño (Figura 4).

Se puede observar en el tratamiento 01 (Figura 5) ,un consumo lento hasta los 40 días y los últimos 20 días se observa una pendiente más pronunciada lo que indica una velocidad mayor del consumo, en el tratamiento 2 (Figura 6), se puede apreciar que los tenebrios tuvieron una velocidad mayor durante los 25 días, no evidenciando consumo por 20 días y posteriormente se vuelve a observar consumo en los últimos 20 días, ajustando la ecuación a una recta se observa una velocidad de consumo constante durante los 56 días. En el tratamiento 03 (Figura 7), el consumo es constante ajustando casi a un R^2 de 1, sin embargo, la velocidad de consumo de poliestireno es más lento comparado con los otros tratamientos.

Asimismo, Chavesta Saavedra et al. (2019) reporta un mayor consumo de poliestireno por las larvas de *Tenebrio molitor* en larvas más pequeñas. Se reportó en el Anexo 02 la conversión de larvas a escarabajos, siendo el tamaño más grande de gusano los que sufrieron metamorfosis. El uso de

tenebrios de tamaño grande se convirtió en pupas y luego en adultos sin embargo Yang et al. (2017), evidenció la capacidad de consumir poliestireno en una segunda generación, lo que nos permite la posibilidad de trabajar de manera continua con los tenebrios.

En la Tabla 4 se reportó el porcentaje de poliestireno en relación con el alimento, siendo el tratamiento 01 (15 %), el tratamiento 02 (8 %) y el tratamiento 03 (3 %), el tratamiento 01 tuvo un consumo promedio de 0,42 g mayor a los tratamientos 02 y tratamiento 03 con un promedio de 0,27 y 0,19 g respectivamente (Tabla 5), el tratamiento con menor variabilidad fue el tratamiento con 15 % de poliestireno a diferencia de los otros 2 tratamientos con una mayor variabilidad en sus medias (Figura 9).

En la Tabla 6 el análisis de varianza evidenció un p valor de 0,01 al 95 %, el mayor consumo de poliestireno fue reportado en el tratamiento 01 (15 %), el cual tuvo un promedio mayor significativamente con el tratamiento 02 (8 %) y el tratamiento 03 (3%), validando nuestra hipótesis sobre la influencia de porcentaje de poliestireno en la biodegradación (Figura 8).

La evolución del consumo de poliestireno a diferentes proporciones con el alimento se evaluó durante 56 días como se observó en las Figuras 10 (tratamiento 01), Figura 11 (tratamiento 02) y Figura 12 (tratamiento 03), la velocidad de consumo del poliestireno fue mayor en el tratamiento 01 y la velocidad disminuyó a menor proporción de poliestireno, en los tratamientos 01 y 02 se ajustó a una ecuación polinómica de cuarto orden y el tratamiento 03 se ajustó a una ecuación lineal.

Esto nos demuestra que las larvas consumen el poliestireno en igual proporción que el alimento y no selecciona el sustrato orgánico sobre el EPS y se podría trabajar con proporciones de hasta 15 % de poliestireno en un proceso de biodegradación. Yang et al. (2017) reportó que el consumo de proteína de soya incrementa el peso de los tenebrios en comparación con el alimento del poliestireno, por ese motivo se trabajó en condiciones mixtas para evitar la mortalidad de los tenebrios en la experimentación.

Experimentaciones realizados por Yang et al. (2021) demostraron que las larvas de *Tenebrio molitor* son capaces de biodegradar el poliestireno expandido (EPS), con un peso molecular medio ponderado (Mw) 256,4 kDa durante 56 días y evaluaron mediante espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier y análisis termogravimétricos de el excremento y

confirmó la formación de nuevos grupos funcionales que contienen oxígeno, así como un cambio en propiedad física y modificación química, lo que indica que se produjo la biodegradación de EPS. La biodegradación del poliestireno está asociada a la microbiota del intestino del gusano, Brandon et al., (2018), reporto mediante análisis metagenómicos el género *Citrobacter sp* y *Kosakonia sp*. En estudios realizado por Przemieniecki et al. (2020) mediante análisis metagenómico utilizando diferentes sustratos encontró una relación en el desarrollo de bacterias fijadoras de nitrógeno en el intestino de las larvas que solamente fueron alimentadas con poliestireno, a diferencia de *Lactococcus sp* y *Elizabethkingia sp* en tratamientos con poliestireno y polietileno, Li et al. (2009), aisló a *Dyella ginsengisoli* strain LA-4 de la saliva de *Tenebrio molitor* alimentada con poliestireno y demostró la capacidad de la cepa de obtener energía de una única fuente de carbono de bifenil, y hubo un incremento de *Bacillus sp* en larvas alimentadas con poliestireno. Ru et al. (2020). indica diferentes vías metabólicas para la biodegradación del poliestireno y otros polimeros debido a sus estructuras moleculares.

En la Tabla 7 se reportó las temperaturas que fueron controladas en diferentes ambientes y a detalle en el Anexo 03; el primer tratamiento se realizó en una incubadora casera que mantuvo la temperatura entre 28 a 30 °C, los otros tratamientos se realizaron a temperaturas ambientales internas y externas. La temperatura ambiental interna osciló entre 16 y 18 °C con un promedio de 16,5 °C y la temperatura externa osciló entre 10 a 23 °C con un promedio de 16, 08 °C entre los meses de setiembre a noviembre que duró la experimentación (Anexo 03).

En la Tabla 8 se realizaron los cálculos de ANOVA, obteniendo un p valor de 0,035 lo que indica diferencia significativa entre los tratamientos. El mayor promedio de consumo de poliestireno fue en el tratamiento 02 con un consumo promedio de 0,08 g, siendo el tratamiento 03 el que tuvo una menor variabilidad (Figura 14).

El consumo de poliestireno en el primer tratamiento el cual se mantuvo una temperatura de 28 a 30 °C fue significativamente diferente a los tratamientos de temperaturas ambientales internas y externas que mantuvieron un temperaturas promedio de 16,5 y 16, 08 °C, el tratamiento 01 tuvo un consumo promedio de 0,03 gramos y en el segundo y tercer tratamiento un consumo promedio de 0,08 y 0,07 gramos (Figura 13), esto

valida nuestra hipótesis, que la temperatura más adecuada para la biodegradación del poliestireno es a temperatura de 15 a 20 °C.

La velocidad de consumo de poliestireno fue menor en el tratamiento 01 (Figura 15) a diferencia de los tratamientos 02 y 03 que son muy similares (Figura 16) y la (Figura 17). A temperaturas ambiental externa, el consumo se realiza de manera más constante, evidenciándolo porque la ecuación se ajustó a una recta lineal con R^2 de 0,98.

Podemos concluir que la temperatura influye en la biodegradación del poliestireno, por lo que en épocas de verano esta sería menos eficiente que épocas de invierno, o en procesos de compostaje el aumento de la temperatura podría ser perjudicial para el consumo del polímero. *T. molitor* puede restringir su capacidad de adaptarse a cambios de temperatura y las altas temperaturas son nociva para la larva (Allen et al., 2012), a diferencia, Sarmiento de 2018, realizó su trabajo a temperaturas de 28 a 34 ° C, esto nos indica que la sobrevivencia no se ve afectada sin embargo el consumo de poliestireno si se vería afectada.

CONCLUSIONES

1. En el presente trabajo hemos demostrado la influencia de las condiciones biológicas y ambientales en la biodegradación del poliestireno por *Tenebrio molitor*.
2. El estadio larvario influye en el proceso de biodegradación siendo el tamaño pequeño el más eficiente en el consumo de poliestireno y los tenebrios de tamaño grande tienen un proceso de biodegradación más lento debido al proceso de metamorfosis.
3. La proporción de poliestireno y alimento influye en la biodegradación de la larva *Tenebrio molitor*, esto evidenció la capacidad de metabolizar el poliestireno por la larva debido a que no discriminó en el consumo de sustrato orgánico y el poliestireno.
4. La larva de *Tenebrio molitor* degrada el poliestireno de manera más eficiente a temperaturas de promedio de 16 °C con tendencia a temperaturas bajas y disminuye a temperatura altas en promedio de 29 °C.

RECOMENDACIONES

1. Se sugiere que el material de almacenamiento de muestras sea de plástico, ya que es más fácil de manipular el poliestireno, teniendo como observación que en las pesceras de vidrio había una carga electrostática entre el contenedor y el poliestireno.
2. Usar larvas de *Tenebrio molitor* de tamaño pequeño por su efectividad al alimentarse de poliestireno.
3. Realizar el proceso de biodegradación del poliestireno por *Tenebrio molitor* en las épocas de otoño a primavera.
4. Evaluar la capacidad de producción de compost utilizando sustrato orgánico, poliestireno y larvas de *Tenebrio molitor*.
5. Investigar la flora microbiana de *Tenebrio molitor* para seleccionar bacterias con capacidad de biodegradación del poliestireno de manera industrial.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Allen, J. L., Clusella-Trullas, S., & Chown, S. L. (2012). The effects of acclimation and rates of temperature change on critical thermal limits in *Tenebrio molitor* (Tenebrionidae) and *Cyrtobagous salviniae* (Curculionidae). *Journal of Insect Physiology*, 58 (5), 669-678. <https://doi.org/10.1016/j.jinsphys.2012.01.016>
- Álvarez Estepa, D. N., & Botache Laguna, L. M. (2020). Biodegradación de plástico con larvas del coleóptero *Tenebrio molitor* como un aporte interdisciplinar a la biotecnología ambiental. <http://repository.pedagogica.edu.co/handle/20.500.12209/12205>
- Artigas, J. N. (1994). Entomología económica: Insectos de interés agrícola, forestal, médico y veterinario (nativos, introducidos y susceptibles de ser introducidos). Ediciones Universidad de Concepción. CH.pp. 405-408
- Božek, M., Hanus-Lorenz, B., & Rybak, J. (2017). The studies on waste biodegradation by *Tenebrio molitor*. *E3S Web of Conferences*, 17, 00011. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20171700011>
- Castañeda-Rojas, G. H., Guerrero-Mendez, Y. J., & Salcedo-Díaz, L. N. (2020). *Iniciativas relacionadas con economía circular para el aprovechamiento de residuos de un solo uso (poliestireno expandido EPS)*. <http://repositorio.uniagustiniana.edu.co/handle/123456789/1317>
- Chavesta Saavedra, M. F., & Guerra Pérez, A. R. (2019). Aprovechamiento de las condiciones alimentarias del Gorgojo negro común (*Tenebrio molitor*) para la biodegradación del poliestireno en los Residuos Sólidos domiciliarios de la Planicie, 2019. *Universidad Peruana Unión*. <http://repositorio.upeu.edu.pe/handle/UPEU/2355>
- Costa, E. P. da, & Silva, M. G. M. da. (2018). Degradação de poliestireno expandido por larvas de *Tenebrio molitor* Linnaeus, 1758 (Coleoptera: Tenebrionidae). *Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade*, 5(9), 281-289. <https://doi.org/10.21438/rbgas.050919>
- Costa, S., Pedro, S., Lourenço, H., Batista, I., Teixeira, B., Bandarra, N. M., Murta, D., Nunes, R., & Pires, C. (2020). Evaluation of *Tenebrio molitor* larvae as an alternative food source. *NFS Journal*, 21, 57-64. <https://doi.org/10.1016/j.nfs.2020.10.001>

- Espinoza Pinchi, J. (2018). Eficiencia de las larvas *Tenebrio molitor* y *Galleria mellonella* para la biodegradación de microplásticos de la playa Costa Azul, Ventanilla, Callao, 2018. *Repositorio Institucional - UCV*. <http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/49181>
- Espinoza Arias, A. M. (2019). La industria del plástico y su escenario al 2030 en el Perú. https://www.researchgate.net/publication/341464730_La_industria_del_plastico_y_su_escenario_al_2030_en_el_Peru.
- Fernández, M. A. (1996). Ciudades en riesgo: Degradación ambiental, riesgos urbanos y desastres en América Latina. Soluciones Prácticas. https://www.desenredando.org/public/libros/1996/cer/CER_cap02-DARDU_ene-7-2003.pdf
- Gao, H. L., Li, H. T., Zhang, L., & Hao, M. J. (2010). *Effects of Tenebrio molitor L. Larva Decomposing Polystyrene Foam*. Advanced Materials Research; Trans Tech Publications Ltd. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.113-116.1972>
- González Álvarez, K. T., & Ortega Barbosa, B. P. (2020). *El cultivo del gusano de harina (Tenebrio molitor) como herramienta didáctica para disminuir el impacto ambiental del uso del poliestireno expandido (eps) potenciando el uso del abono orgánico producto de su biodegradación con estudiantes de 6° de la institución educativa alfonso builes correa*. <https://repositorio.unicordoba.edu.co/handle/ucordoba/2997>
- Gutiérrez Álvarez, A.I. (2019). Biodegradación de Polietileno de Baja Densidad Utilizando Hongos, Bacterias y Consorcios Microbianos Aislados del Botadero Municipal de Tacna. *Repositorio Institucional - UPT*. <http://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/1309752>
- Jacobo, A. T. J., Zavala, Y. I. M., Zavala, Y. I. M., López, J. A. O., López, J. A. O., Ramírez, L. D. P., Ramírez, L. D. P., López, C. A. L., & López, C. A. L. (2019). Caracterización morfológica de *Tenebrio molitor* alimentado con poliestireno. *JÓVENES EN LA CIENCIA*, 5 (1), Article 1. <http://www.jovenesenlaciencia.ugto.mx/index.php/jovenesenlaciencia/article/view/3016>

- López, C. M., & Canepa, J. R. L. (2013). POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS) Y SU PROBLEMÁTICA AMBIENTAL. *Kuxulkab'*, 19(36), Article 36. <https://doi.org/10.19136/kuxulkab.a19n36.339>
- Li, A., Qu, Y., Zhou, J., & Gou, M. (2009). Isolation and characteristics of a novel biphenyl-degrading bacterial strain, *Dyella ginsengisoli* LA-4. *Journal of Environmental Sciences (China)*, 21(2), 211-217. [https://doi.org/10.1016/s1001-0742\(08\)62253-6](https://doi.org/10.1016/s1001-0742(08)62253-6)
- Molina Cerón, F., Flores Vásquez, K. P., & Hermsillo Ortiz, M. (2016). *Degradación de Polímeros con Tenebrio Molitor SEGUNDA FASE INVESTIGACIÓN*. <https://dspace.umad.edu.mx/handle/11670/268>
- Murray, D. R. P. (1960). The stimulus to feeding in larvae of *Tenebrio molitor* L. *Journal of Insect Physiology*, 4(1), 80-91. [https://doi.org/10.1016/0022-1910\(60\)90069-X](https://doi.org/10.1016/0022-1910(60)90069-X)
- Peng, B.-Y., Su, Y., Chen, Z., Chen, J., Zhou, X., Benbow, M. E., Criddle, C. S., Wu, W.-M., & Zhang, Y. (2019). Biodegradation of Polystyrene by Dark (*Tenebrio obscurus*) and Yellow (*Tenebrio molitor*) Mealworms (Coleoptera: Tenebrionidae). *Environmental Science & Technology*, 53(9), 5256-5265. <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b06963>
- Przemieniecki, S. W., Kosewska, A., Ciesielski, S., & Kosewska, O. (2020). Changes in the gut microbiome and enzymatic profile of *Tenebrio molitor* larvae biodegrading cellulose, polyethylene and polystyrene waste. *Environmental Pollution*, 256, 113265. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113265>
- Puente, P., & Susana, A. (2010). *Diseño de bloques en base a polietileno-tereftalato (Plástico reciclado)*. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/1842>
- Sánchez, C., & Lizeth, M. (2020). *Biodegradación del poliestireno expandido por larvas de Tenebrio molitor L. (Coleoptera: Tenebrionidae), en condiciones de laboratorio*. <http://repository.unad.edu.co/handle/10596/34873>
- Silva, C., & Milagros, C. A. (2019). Evaluación del Polietileno como Alimento de la *Galleria Mellonella* como Alternativa en la Biodegradación. *Repositorio Institucional - UPT*. <http://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/1309732>

- Ru, J., Huo, Y., & Yang, Y. (2020). Microbial Degradation and Valorization of Plastic Wastes. *Frontiers in Microbiology*, 11. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.00442>
- Sarmiento, A. P. (2018). Establecimiento e implementación de un protocolo de cría de gusano de harina *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae), como apoyo al programa de conservación de la rana venenosa dorada *Phyllobates terribilis* (Anura: Dendrobatidae) en el Bioparque Wakatá, parque Jaime Duque. <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/17749>.
- Tejeda, A., Méndez I., Rodríguez N. (2018), *La Humedad en la Atmosfera, Bases físicas, instrumentos y aplicaciones* Editorial Electrónica Universidad de Colima http://ww.ucol.mx/content/publicacionesenlinea/adjuntos/La-humedad-en-la-atmosfera_466.pdf
- Yance, D., & Albert, P. (2017). Biodegradación de la Espuma de Poliestireno por la larva del *Tenebrio molitor* para la producción de Abono, 2017. *Universidad César Vallejo*. <http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/22578>
- Yang, L., Gao, J., Liu, Y., Zhuang, G., Peng, X., Wu, W.-M., & Zhuang, X. (2021). Biodegradation of expanded polystyrene and low-density polyethylene foams in larvae of *Tenebrio molitor* Linnaeus (Coleoptera: Tenebrionidae): Broad versus limited extent depolymerization and microbe-dependence versus independence. *Chemosphere*, 262, 127818. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127818>

ANEXOS

Anexo 01: Peso de Poliestireno en Diferentes Temperaturas

Fecha	Muestra	Peso Poliestireno
28/09/2020	T1	1,01
28/09/2020	T1a	1,02
28/09/2020	T1b	1,00
28/09/2020	T2	1,01
28/09/2020	T2a	1,01
28/09/2020	T2b	1,00
28/09/2020	T3	1,00
28/09/2020	T3a	1,01
28/09/2020	T3b	1,00
12/10/2020	T1	1,00
12/10/2020	T1a	0,99
12/10/2020	T1b	0,99
12/10/2020	T2	0,99
12/10/2020	T2a	0,98
12/10/2020	T2b	0,98
12/10/2020	T3	0,99
12/10/2020	T3a	0,97
12/10/2020	T3b	0,98
27/10/2020	T1	0,99
27/10/2020	T1a	0,99
27/10/2020	T1b	0,99
27/10/2020	T2	0,98
27/10/2020	T2a	0,95
27/10/2020	T2b	0,96
27/10/2020	T3	0,97
27/10/2020	T3a	0,94
27/10/2020	T3b	0,98
10/11/2020	T1	0,99
10/11/2020	T1a	0,99
10/11/2020	T1b	0,99

10/11/2020	T2	0,97
10/11/2020	T2a	0,94
10/11/2020	T2b	0,94
10/11/2020	T3	0,94
10/11/2020	T3a	0,92
10/11/2020	T3b	0,96
23/11/2020	T1	0,99
23/11/2020	T1a	0,98
23/11/2020	T1b	0,97
23/11/2020	T2	0,95
23/11/2020	T2a	0,92
23/11/2020	T2b	0,92
23/11/2020	T3	0,93
23/11/2020	T3a	0,91
23/11/2020	T3b	0,95

Anexo 02: Número de Larvas e Iniciales en los diferentes Tratamientos en Diferentes Tamaños

INSECTOS INICIALES	LARVAS INICIALES	INSECTOS FINALES	LARVAS FINALES
0	7	7	0
0	6	6	0
0	8	8	0
0	17	2	15
0	18	2	16
0	17	2	15
0	42	0	42
0	40	0	40
0	39	0	39

Anexo 03: Registro de Temperatura de los Tratamientos

Fecha	Temperatura 1	Temperatura 2
28/09/2020	16 °C	28 C°
29/09/2020	16 °C	28 C°
30/09/2020	17 C	28 C°
1/10/2020	16 C°	29 C°
2/10/2020	17 C°	30 C°
3/10/2020	18 C°	29 C°
4/10/2020	16 C°	29 C°
5/10/2020	16 C°	30 C°
6/10/2020	17 C°	30 C°
7/10/2020	17 C°	29 C°
8/10/2020	16 C°	29 C°
9/10/2020	16 C°	28 C°
10/10/2020	17 C°	28 C°
11/10/2020	17 C°	28 C°
12/10/2020	16 C°	29 C°
13/10/2020	17 C°	29 C°
14/10/2020	16 C°	30 C°
15/10/2020	16 C°	30 C°
16/10/2020	16 C°	30 C°
17/10/2020	17 C°	28 C°
18/10/2020	17 C°	29 C°
19/10/2020	16 C°	30 C°
20/10/2020	17 C°	30 C°
21/10/2020	16 C°	29 C°
22/10/2020	16 C°	29 C°
23/10/2020	16 C°	28 C°
24/10/2020	17 C°	28 C°
25/10/2020	17 C°	28 C°
26/10/2020	17 C°	29 C°
27/10/2020	16 C°	29 C°
28/10/2020	16 C°	30 C°
29/10/2020	17 C°	30 C°
30/10/2020	16 C°	30 C°
31/10/2020	16 C°	28 C°
1/11/2020	17 C°	29 C°
2/11/2020	17 C°	29 C°
3/11/2020	17 C°	29 C°
4/11/2020	16 C°	29 C°
5/11/2020	17 C°	29 C°
6/11/2020	16 C°	28 C°
7/11/2020	16 C°	28 C°
8/11/2020	17 C°	28 C°
9/11/2020	17 C°	29 C°

10/11/2020	17 °C	29 °C
11/11/2020	16 °C	30 °C
12/11/2020	17 °C	30 °C
13/11/2020	16 °C	30 °C
14/11/2020	16 °C	28 °C
15/11/2020	17 °C	29 °C
16/11/2020	17 °C	30 °C
17/11/2020	17 °C	30 °C
18/11/2020	16 °C	29 °C
19/11/2020	17 °C	29 °C
20/11/2020	16 °C	28 °C
21/11/2020	16 °C	28 °C
22/11/2020	16 °C	28 °C
23/11/2020	17 °C	29 °C

Nota. * En el Tratamiento 03 se registró la Temperatura Ambiental Externa (Registro mínimo y máximo entre los meses de setiembre a noviembre con mínima de 11 °C y temperatura máxima de 23 °C y un promedio de 16,06 °C)



Fuente: NOAA

Anexo 04: Peso de Poliestireno en Diferentes Porcentajes de Sustrato

Fecha	Muestra	Peso Poliestireno
28/09/2020	T1	3,01
28/09/2020	T1a	3,00
28/09/2020	T1b	3,00
28/09/2020	T2	2,01
28/09/2020	T2a	2,02
28/09/2020	T2b	2,02
28/09/2020	T3	1,01
28/09/2020	T3a	1,02
28/09/2020	T3b	1,02
12/10/2020	T1	3,00
12/10/2020	T1a	3,00
12/10/2020	T1b	2,99
12/10/2020	T2	1,94
12/10/2020	T2a	1,93
12/10/2020	T2b	1,95
12/10/2020	T3	0,97
12/10/2020	T3a	0,95
12/10/2020	T3b	0,99
26/10/2020	T1	2,72
26/10/2020	T1a	2,72
26/10/2020	T1b	2,72
26/10/2020	T2	1,82
26/10/2020	T2a	1,81
26/10/2020	T2b	1,82
26/10/2020	T3	0,89
26/10/2020	T3a	0,87
26/10/2020	T3b	0,97
9/10/2020	T1	2,69
9/10/2020	T1a	2,69
9/10/2020	T1b	2,69
9/10/2020	T2	1,56
9/10/2020	T2a	1,74
9/10/2020	T2b	1,75
9/10/2020	T3	0,84
9/10/2020	T3a	0,83
9/10/2020	T3b	0,95
23/11/2020	T1	2,59
23/11/2020	T1a	2,58
23/11/2020	T1b	2,58
23/11/2020	T2	1,51
23/11/2020	T2a	1,71

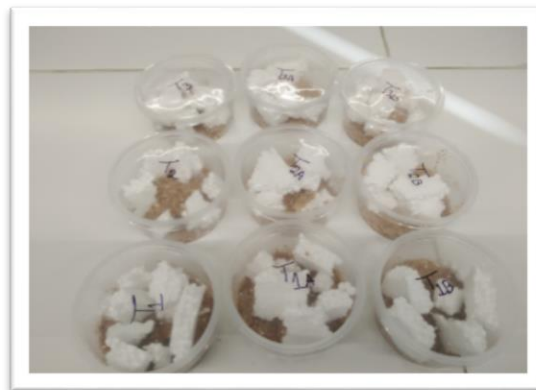
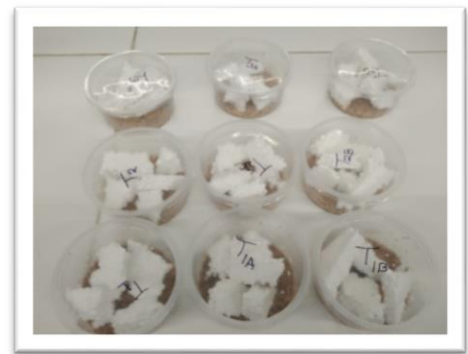
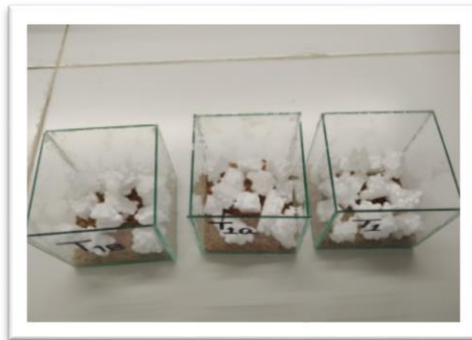
23/11/2020	T2b	1,72
23/11/2020	T3	0,79
23/11/2020	T3a	0,76
23/11/2020	T3b	0,92

Anexo 05: Peso de Poliestireno en el Estadio Larvario de *Tenebrio molitor*

Fecha	Muestra	Peso Poliestireno
28/09/2020	T1	1,01
28/09/2020	T1a	1,00
28/09/2020	T1b	1,00
28/09/2020	T2	1,00
28/09/2020	T2a	1,00
28/09/2020	T2b	1,00
28/09/2020	T3	1,01
28/09/2020	T3a	1,00
28/09/2020	T3b	1,01
12/10/2020	T1	1,01
12/10/2020	T1a	1,00
12/10/2020	T1b	1,00
12/10/2020	T2	0,98
12/10/2020	T2a	0,96
12/10/2020	T2b	0,97
12/10/2020	T3	0,99
12/10/2020	T3a	0,97
12/10/2020	T3b	0,96
26/10/2020	T1	1,00
26/10/2020	T1a	1,00
26/10/2020	T1b	1,00
26/10/2020	T2	0,96
26/10/2020	T2a	0,92
26/10/2020	T2b	0,93
26/10/2020	T3	0,96
26/10/2020	T3a	0,94
26/10/2020	T3b	0,94
4/11/2020	T1	1,00
4/11/2020	T1a	0,99
4/11/2020	T1b	0,99
4/11/2020	T2	0,93
4/11/2020	T2a	0,88
4/11/2020	T2b	0,90
4/11/2020	T3	0,94
4/11/2020	T3a	0,91
4/11/2020	T3b	0,89
23/11/2020	T1	1,00
23/11/2020	T1a	1,00

23/11/2020	T1b	0,92
23/11/2020	T2	0,92
23/11/2020	T2a	0,86
23/11/2020	T2b	0,88
23/11/2020	T3	0,88
23/11/2020	T3a	0,89
23/11/2020	T3b	0,88

Anexo 06: Muestras de las Diferentes Temperaturas, Diferentes Porcentajes de Sustrato y Estadío Larvario



MATRIZ DE CONSISTENCIA

Título Probable	“Evaluación de las condiciones biológicas y ambientales de <i>Tenebrio molitor</i> para la biodegradación de poliestireno”					
Problema General	Objetivo General	Hipótesis General	Variables	Dimensión	Indicador	Metodología
¿Cuáles son las condiciones biológicas y ambientales que influyen en la biodegradación de poliestireno por <i>Tenebrio molitor</i> ?	<ul style="list-style-type: none"> • Evaluar las condiciones biológicas y ambientales de <i>Tenebrio molitor</i> para la biodegradación de poliestireno. 	<ul style="list-style-type: none"> • Las condiciones biológicas y ambientales influyen en la biodegradación de poliestireno utilizando la larva <i>Tenebrio molitor</i>. 	Variable dependiente: Biodegradación de poliestireno	Disminución de poliestireno	Peso	Aplicación de referencia según el estudio realizado por Molina Cerón et al (2016).
Problemas Específicos	Objetivo Especifico	Hipótesis Especifico	Variable Independientes: Condiciones biológicas		Indicador	
<p>¿Cuál es el estadio de <i>Tenebrio molitor</i> más eficiente para la biodegradación de poliestireno?</p> <p>¿Cómo influye el sustrato orgánico a la larva <i>Tenebrio molitor</i> para la biodegradación de poliestireno?</p> <p>¿Cómo influye la temperatura en la biodegradación de poliestireno por <i>Tenebrio molitor</i>?</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Determinar el estadio más eficiente de la larva de <i>Tenebrio molitor</i> para la biodegradación del poliestireno. • Evaluar la necesidad de un sustrato orgánico adicional para la larva <i>Tenebrio molitor</i> para biodegradación de poliestireno. • Determinar la temperatura ambiental adecuada para la biodegradación de poliestireno por la larva <i>Tenebrio molitor</i>. 	<ul style="list-style-type: none"> • Existen diferencias significativas en el estadio larvario de <i>Tenebrio molitor</i> para la biodegradación de poliestireno. • El alimento influye en la supervivencia de <i>Tenebrio molitor</i> para la biodegradación de poliestireno. • La temperatura ambiental adecuada será de 15 a 20 C° para la biodegradación de poliestireno para la larva de <i>Tenebrio molitor</i>. 	Condiciones ambientales	El estadio de <i>Tenebrio molitor</i> El sustrato orgánico Temperatura.	Peso Peso ° C	

