https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/sahagun/issue/archive

Ingenio y Conciencia Boletín Científico de la Escuela Superior Ciudad Sahagún

Publicación semestral, Vol. 14, No. Especial 4 (2026) 27-35

ISSN: 2007-784X

Aplicación de biotecnología para la degradación natural del poliestireno en placa

Application of biotechnology for the natural degradation of polystyrene in sheets

Luis A. Mondragón [a], Jocelyn Loa Arjona [b], Ignacio Lagunas Bernabé [c]

Abstract:

EPS or expanded polystyrene (EPS) is one of the most polluting materials on the planet. From its production to its disposal, it is used irresponsibly. The environmental impact caused by EPS is alarming. When it reaches bodies of water, it is consumed by fish, mimicking plankton. This causes intestinal blockages and, even in small amounts, prevents fish from diving deep, making them easy prey for predators. If EPS is burned, the emitted gases are highly toxic and carcinogenic to humans because CFCs, a precursor to acid rain, are released. The objective is to evaluate the percentage of physical reduction of EPS through the metabolism of ***Tenebrio molitor***, ***Galleria mellonella*** and ***Zophoba morio***.

The experimental design consists of randomized blocks, with 4 control bases and 12 treatments. In these, EPS is exposed to the metabolic consumption of the larvae. It is estimated that the gastric enzymes of the larvae metabolize EPS molecules, reintegrating them into the environment as organic fertilizer with high nitrogen levels to facilitate seed germination in greenhouse nurseries.

- ***Tenebrio molitor*** can metabolize EPS, producing up to 30 grams of organic fertilizer.
- ***Galleria mellonella*** larvae do not degrade EPS; they only use their mandibles to break it apart.
- ***Zophoba morio*** larvae generate up to 30 grams of nitrogen-rich frass, but cannibalism occurs within the species.

Keywords:

PU: Polyurethane, PP: Polypropylene, EPS: Expanded polystyrene, CFC: Chlorofluorocarbons.

Resumen:

El UNICEL o poli estireno en placa (EPS) es uno de los materiales más contaminantes del planeta, desde su producción hasta su desecho se usa sin ninguna responsabilidad; el impacto ambiental provocando por el EPS es alarmante, al llegar a los cuerpos de agua, es consumido por peces, simulando comida en forma de plancton, les provoca bloqueos intestinales, en pequeñas proporciones evita que los peces se sumerjan en aguas profundas, siendo presa fácil de los depredadores. Si el EPS se quema los gases emitidos son altamente tóxicos y cancerígenos para el ser humano debido a que se liberan CFC´s un precursor de la lluvia acida.

El objetivo es; Es evaluar el porcentaje de reducción física del EPS mediante el metabolismo de ***Tenebrio molitor***, ***Galleria mallonella y Zophoba morio.***

El diseño experimental consiste en bloques al azar, contemplando 4 bases de testigo, 12 tratamientos, en los cuales se expone el EPS al consumo metabólico del ***Tenebrio molitor, Galleria mellonella y Zophoba morio,*** se estima que: las enzimas gástricas de las larvas metabolizan las moléculas de EPS para ser reintegradas al medio ambiente en forma de abono orgánico con alto nivel de nitrógeno que facilite la germinación de semillas en almácigos de invernaderos.

[a] Autor de Correspondencia, Tecnológico Nacional de México | Tecnológico de Estudios Superiores de Jilotepec | Jilotepec de Molina Enríquez-Estado de México | México, https://orcid.org/0009-0008-9078-5249, Email: 202227574.iqui@gmail.com

[b] Tecnológico Nacional de México | Tecnológico de Estudios Superiores de Jilotepec | Jilotepec de Molina Enríquez-Estado de México | México, https://orcid.org/0009-0009-0834-8144, Email: jocelyn.la@jilotepec.tecnm.mx

[c] Tecnológico Nacional de México | Tecnológico de Estudios Superiores de Jilotepec | Jilotepec de Molina Enríquez-Estado de México | México, https://orcid.org/0000-0001-6018-6079, Email: ignacio.lb@jilotepec.tecnm.mx

Fecha de recepción: 19/06/2026, Fecha de aceptación: 05/08/2026, Fecha de publicación: 06/11/2026

DOI: https://doi.org/10.29057/escs.v14iEspecial4.18195

- ***Tenebrio molitor*** pueden metabolizar el EPS, produciendo hasta 30 gramos de abono orgánico.
- ***Galleria menonella***, no degradan el UNICEL, solo emplean sus mandíbulas para trozar.
- ***Zophoba morio*** generan hasta 30 gramos de heces, ricas en nitrógeno existiendo canibalismo entre la misma especie.

Palabras Clave:

PU: Poliuretano, PP: Polipropileno, EPS: Poliestireno expandido, CFC: Clorofluorocarbonos

Introducción

La forma de alimentarnos ha cambiado, las necesidades alimentarias han favorecido la industria de la comida rápida, trayendo como consecuencia el consumo alarmante de poliestireno en placa (EPS), México consume más 400,000 toneladas anuales de los cuales solo el 0.1% se recicla. Sánchez, (2017); el resto va parar a los tiraderos públicos. El EPS es uno de los materiales más contaminantes del planeta, su producción involucra el uso de sustancias cancerígenas como el benceno.

El EPS es un material químicamente inerte no biodegradable (no se descompone, no se desintegra, no desaparecen en el medio ambiente, tardando más de 100 años en ser degradado Martínez y Calleja, (2017). Por lo tanto, puede ser un problema ambiental si no se recicla es considerado un material eterno. En porcentaje de peso equivale a un 0.3 del total de residuos plásticos a nivel nacional. Una tonelada de poliestireno desechado abarca un volumen de 200 m^3, es decir 200,000 litros. Lo cual es un volumen realmente grande para tan poco material y que necesita mucho espacio debido a que está compuesto por 98% de aire y el 2% de la materia prima: poliestireno Schmidt et al., (2011).

El impacto ambiental del (EPS) es alarmante, es el único producto que es usado solo una vez y se desecha sin la más mínima responsabilidad, al llegar a los cuerpos de agua los peces y tortugas suele parecerles comida al ser ingerido suele ocasionarles bloqueos del sistema gástrico repercutiendo en la muerte, o bien puede que el pez flote perdiendo movilidad y siendo presa fácil de depredadores. Otra manifestación del problema es la creación de islas flotantes de basura alrededor de los océanos. Si el EPS es quemado al aire libre expulsa gases (CFC`s), que deterioran la capa de ozono y dioxinas altamente toxicas y cancerígenas para los seres vivos, además del HCl formador de lluvia ácida.

El EPS al ser desechado, la naturaleza solo puede dividir su estructura en moléculas mínimas, pero no biodegradarlo; por la acción del viento, este solo comienza a fragmentarse en piezas cada vez más pequeñas hasta convertirlo en micropartícula, debido a su ligereza es arrastrado por los vientos hasta llegar a las fosas nasales provocando graves problemas en vías respiratorias. En el ámbito de consumo humano, el mayor peligro con el uso de unicel es que su componente básico es estireno, el cual es un químico catalogado como cancerígeno. Dicho compuesto, al entrar en contacto con el calor emite una serie de compuestos químicos dañinos para la salud Martínez, (2019).

La exposición prolongada al estireno ha sido relacionada con daños hacia el sistema nervioso central desarrollando dificultad para dormir, trastornos neuróticos, depresión, dolores de cabeza e incluso efectos en la función hepática y en la sangre. A su vez el EPS ha sido relacionado con cambios hormonales que afectan especialmente el sistema reproductivo de las mujeres expuestas a vapor de estireno durante la elaboración del EPS Martínez, (2009).

La importancia de este estudio radica en la necesidad de encontrar una alternativa que permita el reciclaje, reproceso o reutilización del EPS, la propuesta es emplear larvas y escarabajos de Tenebrio molitor, larvas de *Zophoba morio y* un lepidóptero *Galleria mellonella* para degradar el EPS mediante el consumo metabólico, la digestión enzimática permitirá obtener un abono orgánico con alto contenido de nitrógeno, que permita ser empleado en la germinación de semillas en almácigos de invernaderos, para emplear el EPS una vez que ha cumplido su periodo de vida útil, mediante el planteamiento de la hipótesis: Puede el *Tenebrio molitor* (larva y escarabajo), *Gallera Mellonella* y *Zophoba Morio;* degradar el EPS integrando a sus sistema digestivo y mediante una enzima gástrica metabolizará el EPS produciendo nitrógeno que pudiera ser empleado como abono orgánico?.

Proceso metodológico

El proceso experimental se desarrolló en el Tecnológico de Estudios Superiores de Jilotepec. La metodología fue

experimental y tipo de investigación experimental, mediante un diseño de experimentos de bloques al azar. El diseño experimental fue por bloques al azar (Ver tabla 1), se valoraron 8 tratamientos con 4 bloques testigos, correspondientes a larvas de las especies *Tenebrio molitor,* en su estado larvario (200 larvas por tratamiento); *Tenebrio molitor* en su estado adulto, (100 escarabajos) por tratamiento; *Galleria mellonella (*100 por tratamiento), y *Zophoba morio*, (200 por tratamiento). Bloques testigo, cada una de estas especies fueron alimentadas con sustratos naturales según su hábitat: salvado de trigo, cera de abeja y como fuente de hidratación se empleó lechuga y fruta; Los tratamientos (T1, T3, T5 y T7) fueron sometidos al consumo de EPS más una fuente de hidratación cada 8 días y los tratamientos (T2, T4, T6 y T8) estuvieron en presencia de EPS, sustrato natural (salvado) y fuente de hidratación.

Variables de valoración: Longitud (cm), masa (gramos), tasa de mortalidad (cantidad de larvas vivas vs cantidad de larvas muertas) y productividad de heces (gramos).

Para la observación morfológica de las larvas, se empleó la técnica de microscopía óptica de campo claro. Las muestras se analizaron utilizando un aumento total de 100x.

Tabla 1. Diseño experimental. Fuente: elaboración propia.

	Alimentación Normal	EPS	EPS+ Salvado
Tenebrio molitor	**Testigo 1**	**T1**	**T2**
Zophoba morio	**Testigo 2**	**T3**	**T4**
Galleria mellonella	**Testigo 3**	**T5**	**T6**
Escarabajo *Tenebrio molitor*	**Testigo 4**	**T7**	**T8**

Resultados

A continuación, se presenta el desglose de los resultados obtenidos durante la fase de evaluación y registro de las variables del estudio. En esta sección se analizan los datos correspondientes a la masa corporal, la longitud de los sujetos y degradación de placa de unicel, así como los indicadores biológicos clave de la investigación. Entre estos últimos, se incluyen el monitoreo de la tasa de mortalidad registrada y los valores obtenidos en las pruebas de extracción de heces. Estos parámetros conjuntos permitirán establecer las correlaciones necesarias para comprender el desarrollo de la larva durante la experimentación.

Degradación física del EPS en placa



Figura 1. Evidencia de la degradación del EPS. Fuente: Elaboración propia.

Se observan madrigueras generadas por las larvas de (*Tenebrio molitor* y *Zophoba morio*), a los 8 días de establecer la experimentación ver Figura 1, las larvas cavan madrigueras en las placas de unicel para resguardarse de las condiciones climáticas del medio, el EPS, al ser un material hermético funciona como una incubadora para las larvas.

En primera instancia cada 8 días, se realizó la extracción de cada organismo para su clasificación en larvas muertas y posible aparición de pupa o escarabajos; durante la experimentación se optó por extraer las heces ya que las larvas se encontraban dentro de la placa de EPS pudiendo alterar los registros de peso de la placa, se registró el peso inicial y final de la muestra de EPS; se cuántico la masa y longitud de cada larva, una por una, dichas variables nos permiten conocer el desarrollo de las especies por 40 días; ver este proceso en Diagrama 1.

Proceso metodológico



Diagrama 1. Proceso general de obtención de datos experimentales. Fuente: Elaboración propia.

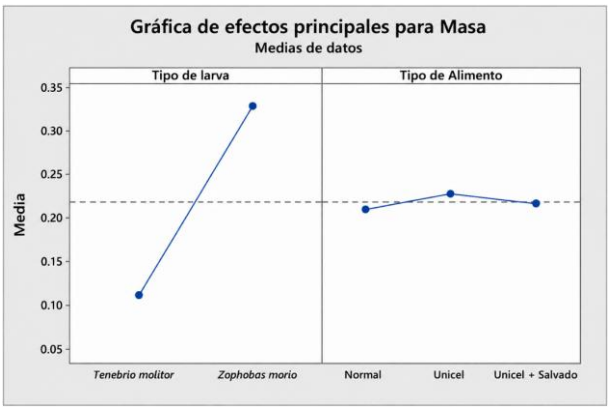
Evaluación del desarrollo de las larvas durante la experimentación

De acuerdo a los datos obtenidos en la experimentación se evaluaron cinco variables clave (masa, longitud, tasa de mortalidad, extracción de heces y peso de muestras de EPS). Los datos fueron procesados en el software Minitab, LLC. (2014). *Minitab Statistical Software* (versión 17 y Microsoft Corporation (2024). *Microsoft Excel.* Versión Microsoft 365). Obteniendo media aritmética, desviación estándar, gráficos y anovas.

Para efecto del análisis se consideró como variables de respuesta (Masa, Longitud, Tasa de mortalidad y Extracción de heces) y como variables: tipo de larva (*Tenebrio Molitor* y *Zophoba Morio*) y el tipo de alimentación de cada tratamiento.

Masa ganada durante la experimentación

Los tratamientos que estuvieron en degradación de poliestireno fueron los que más peso ganaron respecto a los que estuvieron en una alimentación normal (Testigos) (Ver Gráfica 1). Larva de *Zophoba morio* aumento en promedio 0.049 gramos, *Tenebrio molitor* aumento en promedio 0.038 gramos durante la experimentación.

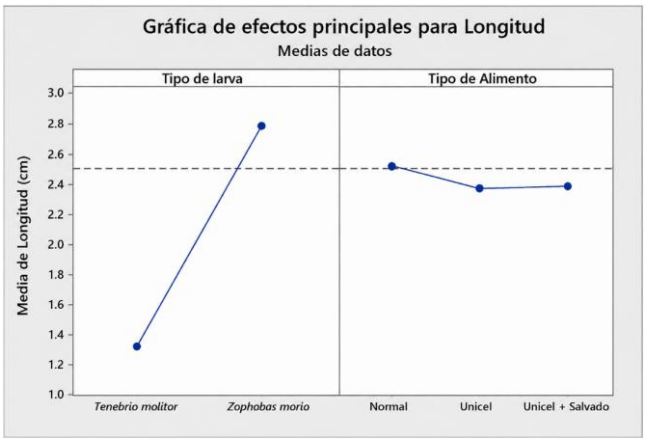


Gráfica 1. Gráfica de efectos principales de masa. Fuente: Elaboración propia

Estimación de la longitud

Zophoba morio en promedio tuvo un crecimiento de 0.069 cm; Larva de *Tenebrio molitor* aumento en promedio 0.095 cm, durante la experimentación (Ver Gráfica 2).

El tipo de alimento no afecta significativamente en el desarrollo de los dos tipos de larva, los Tratamientos Testigo fueron quien más aumento de longitud registraron en promedio 2.86 gramos y tratamientos que están únicamente en la degradación de poliestireno 2.7 gramos es muy poca la variación entre estos tratamientos.



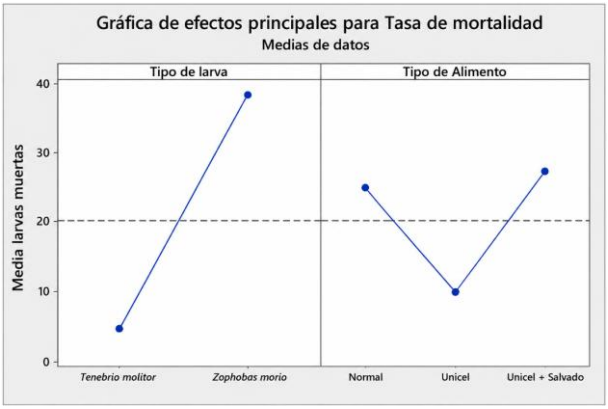
Gráfica 2. Gráfica de efectos principales para Longitud. Fuente: Elaboración propia

Tasa de mortalidad

De acuerdo al análisis de tasa de mortalidad el grupo *Zophoba morio* fue quien más muertes registraron, en promedio 39 larvas muertas por semana, esto se debe a que las larvas al estar expuestas a luz les provocan estrés induciendo al canibalismo.

Tenebrio molitor un factor que influyó fue la exposición de los tratamientos a luz a los 26 días, para aumentar la

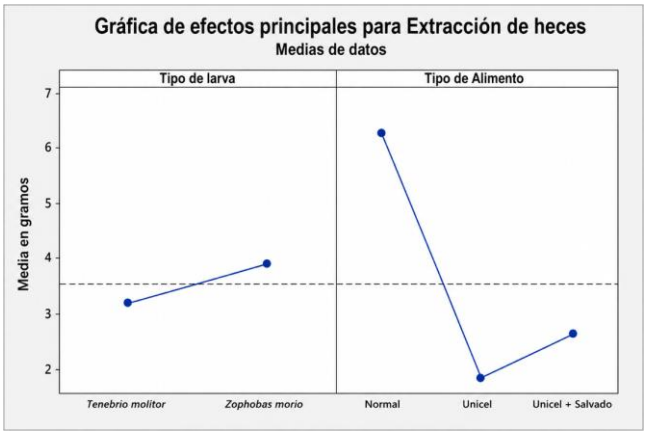
temperatura. Un aumento de temperatura repercute en el desarrollo de la larva (Ver Gráfica 3). Cabe recalcar que los tratamientos que están únicamente en la degradación de EPS, muestran la menor población de larvas muertas.



Gráfica 3. Gráfica de efectos principales para Tasa de mortalidad. Fuente: Elaboración propia.

Extracción de heces

Por tipo de larva no se observa una diferencia significativa, pero por tipo de alimento el testigo fue quien más heces fecales genero porque está en presencia de materia orgánica, mientras que los tratamientos que están en la degradación de poliestireno se obtiene una menor cantidad de heces fecales (Ver Gráfica 4).



Gráfica 4. Gráfica de efectos principales para Extracción de heces. Fuente: Elaboración propia.

Resultado Análisis de Anovas de *Tenebrio Molitor* Vs *Zophoba Morio*

Se realizaron Anovas para afirmar que cada variable de respuesta con su respectiva variable no afecta significativamente en el desarrollo de la larva. En un Anova el valor de p se interpreta como la probabilidad de observar las diferencias entre grupos utilizando un nivel de significancia de 0.05. En resultado de variable de respuesta de (masa, longitud y tasa de mortalidad) se muestra un p de 0.000 menor al nivel de significancia de 0.05 (Ver tabla 2), lo cual se interpreta que el consumo de EPS no afecta en el desarrollo de las larvas, únicamente sufren un proceso de adaptación. Se acepta la hipótesis alternativa. En el caso de extracción de heces el valor es mayor que el de significancia ya que los tratamientos en presencia de salvado al momento de tamizar y extraer heces la materia orgánica de salvado se integraba con heces provocando un aumento considerable en peso de cada muestra en comparación de los que están únicamente en la degradación de poliestireno.

Tabla 2. Resultado de Análisis de Anovas. Fuente: Elaboración propia.

Variable de respuesta	Valor de p
Masa (g)	**0.000**
Longitud (cm)	**0.000**
Tasa de Mortalidad	**0.001**
Extracción de heces	**0.462**

Resultados de Escarabajos de *Tenebrio molitor*

Durante la experimentación se observó que los escarabajos no cavan madrigueras, el EPS en placa inicialmente permanecía igual, no había evidencia de que los escarabajos degradaran significativamente la superficie del UNICEL, a los 26 días 85% de la población de cada tratamiento había muerto, por no adaptarse o bien no poseer las mandíbulas con la fuerza para trozar el EPS.

Resultados *Galleria mellonella*

Las larvas tienden construir un capullo, la dificultad se presenta durante los siguientes pesajes debido a que había que destruir el capullo afectando a la larva, de esta manera se fue perdiendo el tratamiento de manera gradual, a los 14 días ya se había muerto el 50% de población de larvas ver Figura 2.



Figura 1. Muerte de larva de Galleria mellonella. Fuente: Elaboración propia.

Por lo tanto, al momento se puede concluir que la *Galleria mellonella* es solo un organismo trazador, que emplea sus tenazas para fraccionar el UNICEL para cavar una madriguera que le permita resguardarse de las condiciones adversas. Así mismo se pudo observar el efecto adverso del frio, y la adaptación de las larvas *Galleria* al hábitat provocando la muerte del 80% de las larvas.

Generación de microplásticos

Al observar las heces en el microscopio, se observan residuos de EPS fragmentados que representan un riesgo potencial al ser liberados al medio ambiente. Se evidencia la generación de microplásticos, a pesar de que al poliestireno se expuso a tratamiento biológico. Los tratamientos que pertenecen a larvas de Tenebrio molitor y Zophoba morio (Ver Figura 3 y 4) se aprecia una menor cantidad de EPS a diferencia del bloque Galleria mellonella (Ver Figura 5).

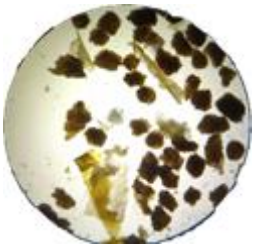


Figura 3. M1, Tenebrio molitor. *Fuente: Elaboración propia.*



Figura 4. M2, Zophoba morio. *Fuente: Elaboración propia.*

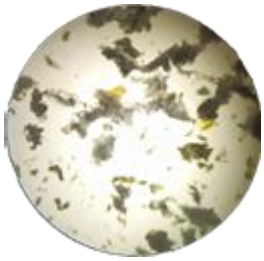


Figura 5. M3, Galleria mellonella. *Fuente: Elaboración propia.*

Resultados Determinación cualitativa de Nitrógeno método URIN 10

Se realizó la determinación de nitrógeno mediante la prueba URIN 10, el método consiste en pesar 1 gramo de heces fecales en 18 ml de agua destilada, se depositaron en un tubo de ensaye, se toma una tira indicadora se compara sobre la muestra indicadora que viene en el recipiente muestra, si la muestra se torna de un color rosado-morado en el indicador 9 se señala como positivo para la presencia de nitrógeno.

Se compara con 2 testigos urea en forma de perlas (sustrato para maíz) y sal nitro empleada para curar embutidos cárnicos.

Bloque *Tenebrio molitor*

Muestra la determinación cualitativa del bloque 1 (*Tenebrio Molitor*) las muestras de Testigo 1, T1 y T2 resultaron positivas para la presencia de nitrógeno. El T1 larvas de Tenebrio molitor consumen y metabolizan el UNICEL generando altas concentraciones de nitrógeno. Así mismo el testigo 1 y T2 poseen menores concentraciones de nitrógeno (Ver Figura 6).

Tabla 1. Concentrado de datos experimentales Zophoba morio. Fuente: Elaboración propia.

	Pérdida de peso gravimétrico del EPS %	Tasa de supervivencia %	Pérdida de peso corporal %
Testigo 1	**0**	**90**	**3.2**
Tratamiento 1	**27.8**	**90**	**18.5**
Tratamiento 2	**24.0**	**65.5**	**22.6**



Figura 6. Determinación cualitativa de nitrógeno de larvas de Tenebrio molitor. Fuente: Elaboración propia.

Bloque *Zophoba morio*

El testigo 2 en sustrato de salvado presenta niveles altos de nitrógeno, se considera que los niveles de nitrógeno elevados son debido al alto contenido de proteína que presenta las larvas (38%). El resto de los tratamientos (T3, T4) se torna de un color rosa muy intenso por lo que son positivos a presencia de nitrógeno.

Bloque *Galleria mellonella*

Larvas de *Galleria mellonella*, el Testigo 3 muestra niveles moderados de nitrógeno, el T5 y T6 no se tiñeron de rosa evidenciando la ausencia del mismo.

Bloque Tenebrio molitor (escarabajo)

Los resultados de la prueba cualitativa de (*Tenebrio molitor* escarabajos), todas las muestras resultaron positivas, indicando que el escarabajo metaboliza el UNICEL en nitrógeno en forma de abono. Una desventaja es que los escarabajos producen proporciones mínimas.

Resultado de Análisis de datos experimentales

Se muestra el concentrado de datos experimentales, (Ver Tabla 2). Se obtiene un 90% de supervivencia en Testigo 1 y T1, además el tratamiento 1, muestra el mayor porcentaje de degradación en el bloque Tenebrio molitor (Ver tabla 3).

Tabla 3. Concentrado de datos experimentales Tenebrio molitor. Fuente: Elaboración propia.

	Pérdida de peso gravimétrico del EPS %	Tasa de supervivencia %	Pérdida de peso corporal %
Testigo 2	**0**	**28.5**	**32.6**
Tratamiento 3	**8.2**	**77**	**10.9**
Tratamiento 4	**7.1**	**20.5**	**16.0**

En cuanto al bloque Zophoba morio el tratamiento 3 muestra una mayor tasa de supervivencia (Ver tabla 4) en comparación del Testigo 2. El tratamiento 3 genero el mayor porcentaje de degradación.

Discusión de resultados

En la presente investigación se evidencio que larvas de *Tenebrio molitor* y *Zophoba morio* son capaces de degradar poliestireno expandido, pero también se encontró que el lepidóptero *Galleria mellonella* muere durante la experimentación, así como los escarabajos de *Tenebrio molitor*.

Los datos de consumo de poliestireno expandido por larvas de *Tenebrio molitor* de otros autores, se tomaron durante seis meses, con un peso inicial de 0,50 gramos y se muestra en la figura 6 que los tratamientos 1 y 2, presentan un mayor consumo en el mes 1 y 2 respectivamente Cardozo, (2020). De acuerdo a Cardozo, durante los primeros meses de la experimentación degradan en promedio 1.8 gramos los tratamientos que únicamente en la degradación de unicel en caso de larvas de *Tenebrio molitor* y de acuerdo los datos experimentales 1.5 veces menos que los tratamientos aplicados en la experimentación propuesta. Cabrera y Torres, (2025) mantuvieron temperatura entre 20-29℃ y humedad entre 60-80%; las larvas que estuvieron en la degradación de EPS mostraron una prolongación de la fase larva por 150 días a diferencia de las dietas control con 62 días, 100 larvas de *Tenebrio molitor* exclusivamente en la degradación de EPS son capaces de consumir 2.83 y 3.54 gramos. En comparación con los resultados obtenidos 100 larvas de Tenebrio molitor puede consumir hasta 3.33 gramos en

promedio, produciendo hasta 30 gramos de abono orgánico con presencia de nitrógeno, pudiendo ser empleado en invernaderos para la producción de plántulas de hortalizas.

Olivas y Jhonatan, (2025) determinaron que en 30 días el proceso de biodegradación de EPS, alcanzo un 2.9% validando que el tiempo es un factor esencial, reduciendo en promedio 0.63 gramos en su tratamiento optimo, las larvas presentaron una tasa de supervivencia del 97.5%. En contraste con los datos experimentales generados se tiene una tasa de supervivencia 77% en el tratamiento 3 expuesto al consumo de EPS únicamente, 20.5% menos que el determinado por Olivas y Jhonatan, con un porcentaje de degradación del 8.2% en 40 días.

Huapaya y carolina, (2025) en su investigación presentaron que su tratamiento 2 con larvas *de Tenebrio molitor* expuestas a degradación de EPS registro una disminución de EPS del 80.48%, en contraste del tratamiento 4 con Galleria mellonella con un 28.53%. Los tratamientos de *Galleria mellonella* cuenta con la tasa de supervivencia más baja de todos los tratamientos, ellos refieren que se debe a la fuga de larvas de los recientes en proceso de experimentación, debido, a que la larva busca migrar hacia un medio que le permita continuar con su desarrollo biológico.

Asimismo, Deras, (2018) reporto que *Galleria mellonella* no es capaz de degradar el poliestireno de baja densidad, menciona que existe la probabilidad que las larvas que habitan en su medio natural presenten microorganismos capaces de biodegradar el poliestireno. Al sustituir el sustrato de EPS al 70% afecta negativamente su crecimiento y supervivencia, recomienda replicar el estudio de Galleria mellonella que sean recolectadas de su hábitat natural y un estudio con diferentes proporciones de dieta.

Conclusiones

El presente estudio se llevó a cabo en un ambiente con temperatura promedio de 12 ℃, a las 07:00 a.m.; 22℃ al medio día y 14℃ a las 19:00 p.m. En el mes de julio y agosto. En conclusión, las larvas *Tenebrio molitor* y *Zophoba morio* degradan y metabolizan el unicel sin sufrir problemas de toxicidad aparente, la masa de las larvas no ve disminuida y su tamaño es ascendente, por lo que los tratamientos T1 y T3 se consideran viables como alternativa para reducir el impacto ecológico provocado por el unicel. Cavan madrigueras, con sus mandíbulas, para resguardarse de las condiciones climáticas adversas y evolucionar metamórficamente, cumpliendo ciclos de reproducción; el EPS les protege de depredadores en estas condiciones se puede decir que el unicel y la larva poseen una relación de benéfico común. Larvas del género *Zophoba morio* metabolizan el unicel de manera más efectiva que el género *Tenebrio*, al ser larvas mayores, pero tiende al canibalismo no es recomendable emplearlo en proporciones altas.
En el caso de larvas de *Tenebrio molitor* y *Zophoba morio* se acepta la Hipótesis alternativa.

Larvas del género *Galleria mellonella* no metabolizan el unicel, solo les sirve como resguardo de depredadores o bien de condiciones climáticas adversas, más bien se considera toxico provocando la muerte de más del 50% de la población de larvas.

En el caso de *Galleria mellonella* y escarabajo los datos fueron insuficientes para poder determinar Anovas y gráficos.

Los tratamientos Testigo 1, Testigo 2, Testigo 4 T1, T2, T3, T4, T5 y T6 resultaron positivos para nitrógeno mediante la prueba URIN 10, por lo que las larvas *Tenebrio molitor* y *Zophoba morio* en sus heces evidencian la presencia de nitrógeno.

Referencias

Álvarez A., & Cruz, L. (2010). Ciencia de los materiales poliestireno expandido Unicel (EPS).

Bertocchini, F. (2017). La saliva del gusano de la cera contiene enzimas capaces de degradar el plástico.

Cabrera, V., & Torres, S. (2025). Capacidad degradadora del poliestireno expandido de la larva de Tenebrio molitor (*Coleóptera: Tenebrionidae*), y efectos que produce su consumo sobre su metamorfosis, Lambayeque, 2022. Recuperado de file:///C:/Users/Hp/Downloads/Cabrera__VJ.pdf

Cardozo, M. (2020). Biodegradación del poliestireno expandido por larvas de *Tenebrio Molitor*. (*Coleóptera*: *Tenebrionidae*), en condiciones de laboratorio.

Castro, E.; Kimberly, I.; Muñoz, E., Marcela, A., (2023). Biodegradación con larvas de Zophobas morio en residuos de poliuretano y polipropileno, San Juan de Lurigancho 2023. Recuperado de https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/132142/Castro_EKI-Mu%c3%b1oz_EAME-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Crespo, A. (2021). "Biodegradación de partículas de micro plástico de polietileno de un consorcio microbiano aislado del contenido intestinal de la larva *Galleria mellonella"*.

Deras, G. (2018). Efecto del consumo del polietileno de baja densidad en el desarrollo de la polilla de la cera (Galleria mellonella, Lepidóptera: Pyralidae). Recuperada de https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/404bfc26-cf53-41bc-8162-7e34e8d6a9b1/content

Huapaya, C. & Carolina, S. (2025). Utilización de *Tenebrio molitor y Galleria mellonella* en la biodegradación del polietileno de baja densidad y del poliestireno expandido. Universidad Ricardo Palma - URP. Recuperado de https://repositorio.urp.edu.pe/server/api/core/bitstreams/f070968a-c099-4c08-9432-d4fce1261f7f/content

Jiménez, C. (2019). Biodegradación del poliestireno expandido por larvas de *Galleria mellonella linnaeus* (*lepidoptera: pyralidae*) en condiciones de laboratorio.

Martínez, D. (2009). ¿Por qué debe prohibirse el uso de unicel en la industria alimenticia en México? I/II.

Martínez, V., & Calleja, B. (2017). Desventajas del unicel. Recuperado de https://campanaunicelcampestre.wordpress.com/2017/05/23/desventajas-del-unicel/

Olivas, G., & Jonathan, A. (2025). Evaluación de la eficiencia de las larvas del *Zophobas morio* en la biodegradación del poliestireno, Huánuco, 2024. Recuperado de https://repositorio.udh.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14257/6661/Olivas%20Gomez%2C%20Jhonatan%20Andy.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Sánchez, A. (2017). Reciclado de Unicel, un negocio desperdiciado. Recuperada de https://www.elfinanciero.com.mx/empresas/reciclaje-de-unicel-un-negocio/

Steve, M. & Mediana, V. (2022). Biodegradación del poliestireno expandido mediante el uso de la especie *Tenebrio molitor* (gusano de harina). Recuperada de https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UCON_91bb6be2c02478834ef4840f0718b7d6

Schmidt, P. (2011). Flexural Test On Recycled Polystyrene. Recuperada de https://www.researchgate.net/publication/251716373_Flexural_Test_On_Recycled_Polystyrene

Universidad de Stanford. (2015). El gusano que se alimenta de plástico no biodegradable. Recuperado de https://www.bbc.com/mundo/noticias/2015/10/151012_ciencia_eeuu_gusanos_plasticos_degradacion_jg