



Evaluación de poliestireno expandido (EPS) y polietileno de baja densidad (PEBD) como alimento para larvas de gorgojo negro (Tenebrio molitor)

José Carlos Chávez Muñoz

jose-chavez@outlook.com

<https://orcid.org/0000-0002-9789-5749>

Robert Antonio Fernández Terán

roberth.teran.94@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0001-9469-5808>

Celio Danilo Bravo Moreira

<https://orcid.org/0000-0002-9649-8979>

danilo.bravo@uleam.edu.ec

María Nohemí Intriago Miranda

e1314510734@live.uleam.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-9789-5749>

Italo Pedro Bello Moreira

<https://orcid.org/0000-0003-0230-0632>

italop.bello@uleam.edu.ec

Emily Julissa Mendoza Cedeño

<https://orcid.org/0000-0003-4284-8571>

e1314873355@live.uleam.edu.ec

Cesar Fabian López Zambrano

<https://orcid.org/0000-0002-9046-9069>

cesar.lopez@uleam.edu.ec

Pedro Isaac López Zambrano

<https://orcid.org/0000-0002-4316-1934>

pedro.lopez@uleam.edu.ec

Correspondencia: jose-chavez@outlook.com

Artículo recibido: 10 julio 2022. Aceptado para publicación: 28 julio 2022.

Conflictos de Interés: Ninguna que declarar

Todo el contenido de **Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar**, publicados en este sitio están disponibles bajo

Licencia [Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) 

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

RESUMEN

Evaluar el consumo de poliestireno expandido (EPS) y polietileno de baja densidad (PEBD) por larvas de gorgojo negro (*Tenebrio molitor*), poder evidenciar el consumo de poliestireno expandido y polietileno en los diferentes tipos de sustratos donde se desarrolla su estado larval. Los plásticos son difíciles de degradar, son el principal contaminante de Ríos, lagos y océanos, se pueden biodegradar por mecanismos biológicos, especialmente por larvas de insectos, coleópteros, en los que destacan el (*Tenebrio molitor*) o también conocido como gusano de la harina. (una especie de escarabajo oscuro) son considerados plagas y tienen cuatro fases en su vida: huevo, larva, pupa y adulto. Pueden ser criados en avena fresca, salvado de trigo, zanahorias. Para cuantificar la biodegradación se tomó el peso al inicio del tratamiento (6 en total, con 3 réplicas, con un total de 16 larvas). Para determinar la eficacia del consumo de poliestireno expandido y polietileno de baja densidad, se utilizó un diseño experimental de 3 repeticiones por tratamiento. De acuerdo a la metodología planteada, donde se evidencio la mayor eficiencia de consumo tanto como en la dieta combinada y dieta sola fueron en los tratamientos; poliestireno expandido (EPS) más polietileno de baja densidad (PEBD), avena más poliestireno expandido (EPS), poliestireno (EPS) como dieta sola, el poliestireno expandido (EPS) más polietileno de baja densidad (PEBD) fue el que se evidencio mayor eficiencia de consumo de poliestireno (EPS) siendo el plástico preferido de las larvas en los tratamientos.

Palabras clave: *gusano de harina; biodegradación; plástico; sustratos; poliestireno expandido (EPS).*

Evaluation of expanded polystyrene (EPS) and low-density polyethylene (PEBD) as food for black weevil larvae (*Tenebrio molitor*)

ABSTRACT

Evaluate the consumption of expanded polystyrene (EPS) and low-density polyethylene (LDPE) by black weevil larvae (*Tenebrio molitor*), to be able to evidence the consumption of expanded polystyrene and polyethylene in the different types of substrates where their larval state develops. Plastics are difficult to degrade, they are the main pollutant of rivers, lakes and oceans, they can be biodegraded by biological mechanisms, especially by insect larvae, coleoptera, in which the (*Tenebrio molitor*) or also known as mealworm stand out. (a species of dark beetle) are considered pests and have four phases in their life: egg, larva, pupa and adult. They can be bred in fresh oats, wheat bran, carrots. To quantify the biodegradation, the weight was taken at the beginning of treatment (6 in total, with 3 replicas, with a total of 16 larvae). To determine the efficacy of consumption of expanded polystyrene and low-density polyethylene, an experimental design of 3 repetitions per treatment was used. According to the proposed methodology, where the greatest efficiency of consumption was evidenced as well as in the combined diet and diet alone were in the treatments; expanded polystyrene (EPS) plus low-density polyethylene (LDPE), oats plus expanded polystyrene (EPS), polystyrene (EPS) as a single diet, expanded polystyrene (EPS) plus low-density polyethylene (LDPE) was the one that evidenced the highest efficiency of polystyrene consumption (EPS) being the preferred plastic of the larvae in the treatments.

Keywords: *guse of flour; biodegradation; plastic; substrates; expanded polystyrene (EPS)*

INTRODUCCIÓN

El aumento de la población mundial conduce a un aumento de la demanda y el consumo de materias primas plásticas; solo un pequeño porcentaje de los plásticos se recupera y recicla, aumentando la cantidad de residuos que se liberan al medio ambiente y perdiendo su valor económico. Los plásticos representan una gran oportunidad en la perspectiva circular de su reutilización y reciclaje. La investigación avanza, por un lado, para implementar sistemas sostenibles para la gestión de residuos plásticos y, por otro, para encontrar nuevos plásticos no fósiles como los polihidroxialcanoatos (PHA). centramos nuestra atención en *Tenebrio molitor* (TM) como una solución valiosa para la biodegradación plástica y la recuperación biológica de nuevos biopolímeros (por ejemplo, PHA) de microorganismos productores de plástico, aprovechando su microbiota intestinal altamente diversificada. El uso de TM para la gestión de la contaminación plástica es controvertido. Sin embargo, se reconoce que la microbiota TM es una fuente de microorganismos que degradan el plástico (Sangiorgio-Verardi et al., 2021).

Según Sánchez (2021) las larvas de algunas especies de insectos (coleópteros y lepidópteros) pueden consumir y biodegradar polímeros sintéticos, incluidos polietileno, poliestireno, cloruro de polivinilo y polipropileno.

Según Yang-Ding et al. (2021) el polipropileno (PP), un plástico poliolefínico de origen fósil ampliamente utilizado en todo el mundo, no es hidrolizable y es resistente a la biodegradación como fuente principal de contaminantes plásticos en el medio ambiente. Este estudio se centró en la viabilidad de la biodegradación del PP en las larvas de dos especies de escarabajos oscuros (Coleoptera: Tenebrionidae), es decir, gusanos de la harina amarillos (*Tenebrio molitor*) y super gusanos (*Zophobas atratus*) utilizando espuma de PP con promedio de número, peso y tamaño. pesos moleculares (M_n , M_w y M_z) de 109,8, 356,2 y 765,0 kDa, respectivamente. Las pruebas se realizaron por duplicado con las respectivas larvas (300 *T. molitor* y 200 *Z. atratus* cada incubadora) a 25 °C y 65% de humedad durante un período de 35 días. Las larvas de *T. molitor* y *Z. atratus* alimentadas con espuma de PP como única dieta consumieron PP a $1,0 \pm 0,4$ y $3,1 \pm 0,4$ mg 100 larvas⁻¹ días⁻¹, respectivamente; cuando se alimentaron con espuma de PP más salvado de trigo, las tasas de consumo se incrementaron en un 68,11% y un 39,70%, respectivamente.

El poliestireno (PS) es susceptible de una rápida biodegradación en el intestino larvario de *Tenebrio molitor* Linnaeus (gusanos amarillos de la harina). En este estudio, evaluamos las capacidades de degradación de PS de una cepa de *T. molitor* no probada previamente y evaluar sus tasas de supervivencia y biodegradación de PS para una variedad de condiciones (dos desechos de alimentos simulados, tres temperaturas, siete tipos de desechos de PS). Para las larvas alimentadas con PS solo, el % de PS eliminado en el corto tiempo de residencia (12-15 h) del intestino del gusano de la harina aumentó gradualmente durante 2-3 semanas y luego se estabilizó en valores de hasta 65%. Las tasas de supervivencia de treinta y dos días fueron > 85% frente al 54% de las larvas no alimentadas (Yang-Brandon et al., 2018)

Según Yang-Gao et al. (2021). Los gusanos de la harina amarillos (larvas de *Tenebrio molitor*) son capaces de biodegradar el poliestireno (PS) y el polietileno de baja densidad (LDPE).

La biodegradación del plástico de poliestireno (PS) por el gusano de la harina (*Tenebrio molitor*) en diferentes dietas, seguido de una selección no dirigida del tejido del intestino del intestino de las larvas y excrementos (residuos de estiércol y alimentos) para investigar la existencia de residuos orgánicos generados por polímeros. Se probaron tres dietas diferentes, que consistían en PS, cebada laminada y agua. Las tasas de degradación de PS variaron del 16% al 23% en 15 días, sin diferencias estadísticas en las tasas de supervivencia (Tsochatzis-Berggreen et al., 2021).

Las tenebrio *obscurus* *T. obscurus* y *Tenebrio molitor*, que tienen capacidad de degradación de PE, dos espumas comerciales de PE de baja densidad (LDPE), es decir, PE-1 y PE-2, con respectivos pesos moleculares promedio en número (M_n) de 28,9 y 27,3 kDa y pesos moleculares medios en peso (M_w) de 342,0 y 264,1 kDa, durante un período de 36 días a temperatura ambiente (Yang-Ding et al., 2021).

Se ha demostrado que los gusanos de la harina amarillos (larvas de *Tenebrio molitor*, Coleoptera: Tenebrionidae) son capaces de biodegradar los productos de poliestireno (PS). Utilizando cuatro fuentes geográficas, encontramos que los gusanos de la harina oscuros (larvas de *Tenebrio obscurus*) también comían PS. Posteriormente probamos *T. obscurus* de Shandong, China, para determinar la capacidad de degradación de PS. Nuestros resultados demostraron la capacidad para la degradación de PS en el intestino de *T. obscurus* a tasas mayores que *T. molitor*. Con la espuma expandida de PS como

única dieta, las tasas de consumo específicas de PS para *T. obscurus* y *T. molitor* en tamaños similares (2,0 cm, 62-64 mg por larva) fueron $32,44 \pm 0,51$ y $24,30 \pm 1,34$ mg 100 larvas⁻¹ d⁻¹, respectivamente. Después de 31 días, el peso molecular (M_n) del PS residual en excrementos (excrementos) de *T. obscurus* disminuyó en un 26,03%, notablemente más alto que el de *T. molitor* (11,67%). 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 de la PS puede ser ubicua dentro del género *Tenebrio*, lo que podría proporcionar una biodegradación para la biodegradación de los desechos plásticos (Peng-Su et al., 2019).

En todo caso podemos hacer mención que, por motivos de lo que acontece en los párrafos anteriores los desechos plásticos son un problema a su vez se podría decir que tienen consecuencias directas sobre toda especie viva dentro de la biósfera, es por ello que este trabajo pretende demostrar mediante la evaluación de poliestireno expandido (EPS) y polietileno de baja densidad (PEBD) como alimento para larvas de gorgojo negro (*Tenebrio molitor*)". Sea una alternativa para reducir en parte las contaminaciones de algunos sectores de Ecuador en donde prima el mal manejo de los residuos plásticos.

METODOLOGÍA

Área geográfica de estudio

Figura 1 Ubicación geográfica de la zona de muestreo.



La zona geográfica en donde se va a realizar nuestra investigación será en el cantón Manta de la provincia de Manabí, específicamente en el barrio 4 de agosto, a -0.997310,

de altitud y -80.710610 de longitud, en donde se realizará la evaluación de consumo de poliestireno expandido y polietileno.

La evaluación de consumo de EPS y PEBD mediante larvas de gorgojo negro se realizó en la respectiva localización durante el mes de noviembre de 2020, ya que las larvas pueden entrar en un proceso de letargo al encontrarse en baja temperaturas, este nos permite controlar, el tamaño de la colonia y el tamaño de las larvas.

Obtención de muestras

Para la obtención de muestras se adquirieron 450 pies de crías de larvas en la ciudad de Quito (tienda PETMASCOTA), por otra parte, las muestras de plásticos EPS, PEBD y avena se adquirieron en tiendas distribuidoras.

La evaluación de las muestras se efectuó en los meses de diciembre de 2020 y enero 2021.

Proceso y análisis

Las muestras obtenidas fueron trasladadas al laboratorio de la facultad de Ciencias Agropecuaria en la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí.

Se precedió a colocar en 15 cajas Petri 16 larvas, detalladas a continuación;

Tratamientos	Larvas (<i>T. molitor</i>)	Peso sustrato (mg)
EPS		200
PEBD		20
AVENA+EPS	16	100
AVENA+PEBD		10
EPS+PEBD		110

Consumo/deposición

Para Determinar la relación consumo-deposición del gorgojo negro durante su estadio larval se utilizará la siguiente formula con el fin de comprobar el crecimiento óptimo de las larvas *Tenebrio molitor*. y el aprovechamiento de consumo.

$$\text{Consumo/Deposición} = \frac{\text{MASA INICIAL sustrato} - \text{MASA FINAL sustrato}}{\text{MASA EXCRETADA}}$$

Supervivencia

Para cuantificar la supervivencia del gorgojo negro durante su estadio larval la formula a utilizar es la siguiente:

Supervivencia estado larval

$$\% \text{Supervivencia} = \frac{N^{\circ} \text{ de larvas final}}{N^{\circ} \text{ de larvas inicial}} * 100$$

Consumo

La fórmula a utilizar para calcular la eficiencia del consumo de poliestireno expandido y polietileno de alta densidad por acción de larvas de gorgojo negro es la siguiente:

Consumo de EPS o PEBD

$$\% \text{Eficiencia del consumo de EPS O PEBD} = \frac{\text{Consumo de EPS O PEBD}}{(\text{Peso inicial de EPS O PEBD})} * 100$$

Diseño experimental

El diseño experimental utilizado es el DCA (DISEÑO COMPLETOS AL AZAR) con ANOVA multifactorial con 3 repeticiones por tratamiento, haciendo uso del estadígrafo LSD de Fisher al 0,05% de significancia para determinar la eficiencia de consumo en los diferentes tipos de sustrato donde se desarrollaron las larvas a temperaturas promedio de 28 a 32 °C.

Tratamientos (sustratos)	Códigos	Repeticiones
Poliestireno expandido	EPS	3
Polietileno de baja densidad	PEBD	3
AVENA + Poliestireno expandido	AVENA + EPS	3
AVENA + Polietileno de baja densidad	AVENA + PEBD	3
Poliestireno expandido + Polietileno de baja densidad	EPS + PEBD	3
TOTAL		15

Fuente de variación	G. L
Total	(t*r) *2-1
Repeticiones	r-1
Tratamientos	t-1
Error	((r-1)+(t-1)) - (t*r)

Prueba LSD de Fisher $p \leq 0,05$

$$\text{Coeficiente de variación (\%)} CV = \frac{\sqrt{\text{cm error}}}{x} * 100$$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados se obtuvieron a los 22 días, el método estadístico para la interpretación fue ANOVA MULTIFACTORIAL (LSD de Fisher $p \leq 0,05$) permite evaluar las diferencias estadísticas de la % de eficiencia, supervivencia y la eficiencia del consumo, para el

posterior análisis de los metadatos se usó el software Statgraphics, como se muestra a continuación en las siguientes tablas de resultados. Ver tablas en apartado Tablas y figuras

Este procedimiento ejecuta un análisis de varianza de varios factores para % eficiencia, consumo-deposición y % supervivencia, realiza varias pruebas y gráficas para determinar qué factores tienen un efecto estadísticamente significativo sobre % eficiencia. Ver tabla y figura al final respectivamente

La tabla ANOVA descompone la variabilidad de % eficiencia, consumo-deposición y % de supervivencia en contribuciones debidas a varios factores. Puesto que se ha escogido la suma de cuadrados Tipo III (por omisión), la contribución de cada factor se mide eliminando los efectos de los demás factores. Los valores-P prueban la significancia estadística de cada uno de los factores. Puesto que un valor-P es menor que 0,05, este factor tiene un efecto estadísticamente significativo sobre % eficiencia con un 95,0% de nivel de confianza. En el caso de consumo-deposición, ninguno de los factores tiene un efecto estadísticamente significativo sobre Consumo/deposición con un 95,0% de nivel de confianza y el valor-P prueban la significancia estadística de cada uno de los factores en el caso de %de supervivencia. Puesto que ningún valor-P es menor que 0,05, ninguno de los factores tiene un efecto estadísticamente significativo con un 95,0% de nivel de confianza.

De acuerdo a la metodología planteada, donde se evidencio la mayor eficiencia de consumo tanto como en la dieta combinada y dieta sola fueron en los tratamientos; poliestireno expandido (EPS) más polietileno de baja densidad (PEBD), avena más poliestireno expandido (EPS), EPS como dieta sola.

Por otra parte, se evidencio poca eficiencia de consumo en los tratamientos de dieta sola y combinada de polietileno de baja densidad y avena más polietileno baja densidad, en el tratamiento combinado de poliestireno expandido (EPS) más polietileno de baja densidad se evidencio mayor eficiencia de consumo de EPS siendo el plástico preferido de las larvas en este tratamiento.

La supervivencia en el estado larval no se observó muerte de larvas pese a estar consumiendo plástico, las larvas desarrollaron su estado larval con normalidad en todos los tratamientos llegando hasta su último estado escarabajo negro.

La relación consumo-deposición se evidencio un aprovechamiento y crecimiento óptimo de la larva, más días de tratamiento mayor la eficiencia de consumo y producción de excreta.

DISCUSIÓN

Se ha comprobado que las larvas tenebrio molitor tiene la capacidad de consumir, poliestireno (PS) y polietileno de baja densidad (LDPE), Yang-Gao et al. (2021) en su estudio probo la biodegradación de un (PS) expandido (EPS) con un peso molecular promedio en peso (Mw) de 256,4 kDa y dos espumas de LDPE con un Mw respectivo de 130,6 kDa (PE-1) y 288,7 kDa (PE-2) en *T. monitor* larvas obtenidas en Beijing, China. Las larvas consumieron EPS y ambos LDPE durante 60 días a su vez muestra el estudio que los resultados indicaron la complejidad y la limitación de la biodegradación de los plásticos en las larvas de *T. molitor* que se alimentan de plásticos.

En *Tenebrio molitor* (TM) es muy eficiente para la biodegradación plástica y la recuperación biológica de nuevos biopolímeros (por ejemplo, PHA) de microorganismos productores de plástico, pero recalca Sangiorgio-Verardi (2021) que este es un tema bastante controvertido.

Investigadores académicos y "científicos ciudadanos" de 22 países confirmaron que los gusanos de la harina amarillos, las larvas de *Tenebrio molitor* Linnaeus, pueden sobrevivir comiendo espuma de poliestireno (PS). Doce fuentes realizaron evaluaciones más detalladas de esta capacidad para los gusanos de la harina: cinco de EE. UU., Seis de China y una de Irlanda del Norte. Todos estos gusanos de la harina digirieron la espuma de PS. La masa de PS disminuyó y se observó despolimerización, con aparición de residuos y grupos funcionales de menor peso molecular indicativos de transformaciones oxidativas en extractos de excrementos (excrementos de insectos) (Yang-Wu et al., 2018).

Respecto al polietileno de baja densidad tanto como en dieta sola y dieta combinada no se encontró diferencia en el peso inicial y peso final del polietileno, este resultado es similar (Lopez. 2020) que no encontró diferencia del peso inicial con el peso final en el polietileno, por lo que determino en su estudio que la larva tenebrio molitor no tiene capacidad biodegradadora en el polietileno.

En el tratamiento combinado de poliestireno más polietileno de baja densidad se demostró resultados similares a los tratamientos dieta sola siendo el poliestireno el

plástico con mayor eficiencia de consumo (100 mg) y el polietileno de menor eficiencia de consumo. Los resultados de eficiencia de consumo se obtuvieron a los 20 días.

Según (Martin Clavijo. 2012), entre los microorganismos con mayor rendimiento en la biodegradación de polietileno, se encuentran los Actinomicetos y hongos, siendo este proceso posible por la acción de enzimas microbianas, cuyas enzimas se destacan en la degradación de polietileno.

(Molina Ceron, Flores Vasquez , & Hermosillo Ortiz. 2016), Indican que en 45 días las larvas de tenebrio molitor biodegradan en mayor cantidad el poliestireno 84%, en comparación con el polietileno de baja densidad de cual biodegradan el 64%.

En cuanto a la supervivencia los resultados en los análisis estadísticos no presento diferencia significativa, a partir del día 8 la población de larvas en los tratamientos fue disminuyendo cumpliendo las fases de transformación, se observó aprovechamiento y crecimiento óptimo de las larvas, evidenciando supervivencia. Tal como lo indica es su estudio (Lopez. 2020) en la que afirma que en los mayores cambios en la variación del número de individuos se observó a partir del octavo día en el ensayo y replicas, la larva tenebrio molitor tuvo supervivencia ante la exposición a dietas basadas de poliestireno y polietileno. Por otra parte, se observó efectividad de consumo. Concordando con el estudio de (Cardozo, 2020) que la cantidad de larvas no es directamente proporcional a la cantidad de consumo de poliestireno.

En la relación consumo-deposición se demostró un aprovechamiento y crecimiento óptimo de las larvas tenebrio molitor 16 larvas consumió más del 60% de poliestireno en 4 días, mientras que el polietileno se observó poco consumo en esos 4 días, la producción de excremento también aumento en los primeros 4 días concordando con el estudio de (Yang-Yang, 2015) mientras más días dura el tratamiento mayor será el consumo y producción de excreta.

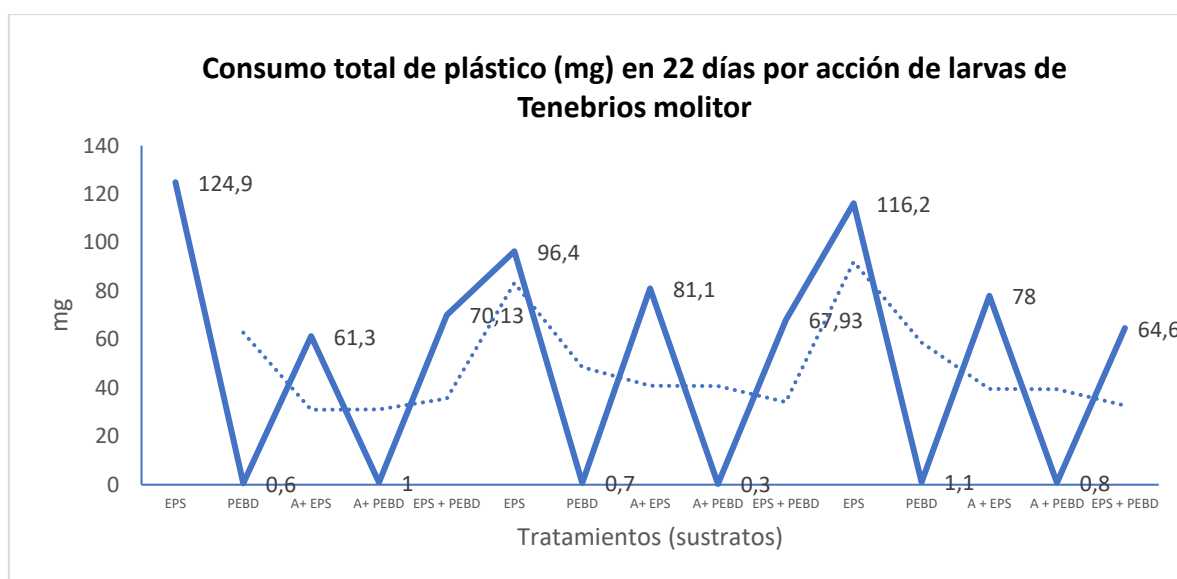
(BBC. 2015) científicos de Oxford indican que estos insectos transforman el 50% de la espuma que consumen en CO₂, este es un contaminante y el otro 50% lo excretan como fragmentos biodegradados que pueden ser utilizados como abono natural. En su estudio (Molina Ceron, Flores Vasquez, & Hermosillo Ortiz. 2016) en la que experimento con diferentes tipos de plásticos, el excremento fue diferente dependiendo de su tipo de alimento y utiliza la masa excretada como fertilizantes para las plantas de frijol.

Evaluación de poliestireno expandido (EPS) y polietileno de baja densidad (PEBD) como alimento para larvas de gorgojo negro (*Tenebrio molitor*)

Los resultados evidenciaron que los tratamientos de poliestireno combinada con sustrato avena, mostro resultado de eficiencia de consumo que se acerca al tratamiento dieta sola de poliestireno, confirmando que el tratamiento combinado con sustrato avena también muestran niveles altos de eficiencia de consumo.

TABLAS Y FIGURAS.

Tratamientos	Repeticiones	Cantidad inicial Tenebrios	Cantidad final de Tenebrios	Peso, A inicial (mg)	Peso, A final (mg)	Consumo total de plástico (mg)	Masa excretada	% eficiencia	consumo/deposición	% supervivencia
EPS	1	16	5	218	93,1	124,9	306,1	57,2	0,4	31,2
PEBD	1	16	8	21,3	20,7	0,6	156,3	2,8	0,32	50
AVENA + EPS	1	16	1	102,9	41,6	61,3	397,9	59,5	0,4	6,2
AVENA + PEBD	1	16	5	10	9	1	175,6	10	3,83	31,2
EPS + PEBD	1	16	1	76,8	10	70,13	254,9	91,3	0,01	6,2
EPS	2	16	1	198,4	102	96,4	292,9	48,5	4,77	6,2
PEBD	2	16	1	24	23,3	0,7	43,1	2,91	0,15	6,2
AVENA + EPS	2	16	2	104	22,9	81,1	490,6	77,9	0,16	12,5
AVENA + PEBD	2	16	3	10,7	10,4	0,3	165,1	2,8	0,15	18,7
EPS + PEBD	2	16	3	73,8	8,8	67,93	283,9	92	5,69	18,7
EPS	3	16	1	214,1	97,9	116,2	286,3	54,2	1,81	6,2
PEBD	3	16	3	20,9	19,8	1,1	230,4	5,2	5,96	18,7
AVENA + EPS	3	16	2	95	17	78	500	82,1	0,41	12,5
AVENA + PEBD	3	16	3	11,7	10,09	0,8	134,2	6,8	0,35	18,7
EPS + PEBD	3	16	5	70	8,1	64,6	271,6	92	0,35	31,2

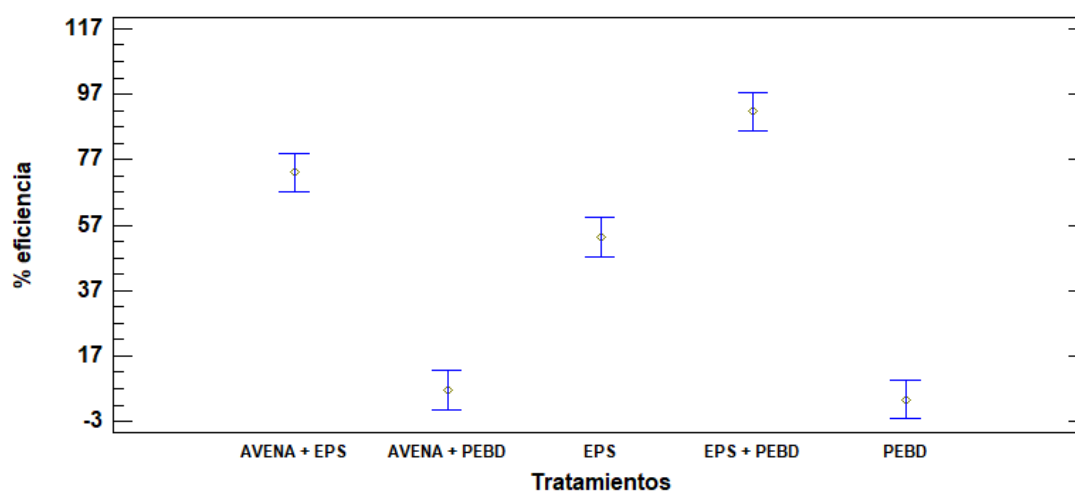


Análisis de Varianza para % eficiencia - Suma de Cuadrados Tipo III

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Tratamientos	18713,0	4	4678,25	119,00	0,0000
B:Repeticiones	43,5548	2	21,7774	0,55	0,5952
RESIDUOS	314,517	8	39,3147		
TOTAL (CORREGIDO)	19071,1	14			

Método: 95,0 porcentaje LSD

<i>Tratamientos</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
PEBD	3	3,63667	3,62007	X
AVENA + PEBD	3	6,53333	3,62007	X
EPS	3	53,3	3,62007	X
AVENA + EPS	3	73,1667	3,62007	X
EPS + PEBD	3	91,7667	3,62007	X

Eficiencia del consumo de sustratos, por acción de larvas (*Tenebrio molitor*)

Análisis de Varianza para Consumo/deposición - Suma de Cuadrados Tipo III

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Tratamientos	7,91536	4	1,97884	0,28	0,8845
B:Repeticiones	3,66997	2	1,83499	0,26	0,7793
RESIDUOS	57,046	8	7,13075		
TOTAL (CORREGIDO)	68,6313	14			

Método: 95,0 porcentaje LSD

<i>Tratamientos</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
AVENA + EPS	3	0,323333	1,54172	X
AVENA + PEBD	3	1,44333	1,54172	X
EPS + PEBD	3	2,01667	1,54172	X
PEBD	3	2,14333	1,54172	X
EPS	3	2,32667	1,54172	X

CONCLUSIONES

Se demostró que las características de las larvas del *Tenebrio molitor* tienen la capacidad de consumir el poliestireno expandido (EPS) y el polietileno de baja densidad (PEBD). El objetivo general se completó, ya que se determinó el porcentaje de consumo. La supervivencia en estado larval del *Tenebrio molitor* fue normal, no se observó muerte de larvas pese a estar consumiendo plástico, pero en algunos tratamientos se pudo evidenciar un cambio de tamaño, esto debido a su alimentación, mientras que algunos tratamientos se evidenció una etapa de canibalismo ya que estos se consumían entre ellos. Los resultados de este estudio nos permitieron demostrar que las larvas de *Tenebrio molitor* son capaces de consumir diferentes tipos de plásticos, algunos con más eficacia que otros, como, por ejemplo: El poliestireno expandido (EPS), el cual se demostró mediante los resultados obtenidos de la investigación que fue el que las larvas consumieron con más eficacia.

LISTA DE REFERENCIAS

- Angiorgio, P., Verardi, A., Dimatteo, S. et al. *Tenebrio molitor* en la economía circular: un enfoque novedoso para la valorización plástica y la recuperación biológica de PHA. *Environ Sci Pollut Res.* (2021). <https://doi.org/10.1007/s11356-021-15944-6>
- Sanchez-Hernandez, JC. A toxicological perspective of plastic biodegradation by insect larvae. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology.* 2021: 248; 109117 <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2021.109117>
- Yang SS, Ding MQ, He L, et al. Biodegradation of polypropylene by yellow mealworms (*Tenebrio molitor*) and superworms (*Zophobas atratus*) via gut-microbe-dependent depolymerization. *Science of The Total Environment.* 2021: 756; 144087 <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144087>

- Yang SS, Brandon A, et al. Biodegradation of polystyrene wastes in yellow mealworms (larvae of *Tenebrio molitor* Linnaeus): Factors affecting biodegradation rates and the ability of polystyrene-fed larvae to complete their life cycle. *Chemosphere*. 2018; (191): 979-989. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.10.117>
- Yang L, Gao J, Liu Y, et al. 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*. 2021; 127818. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127818>
- Tsochatzis E.D., Berggreen I.E., Nørgaard J.V., Theodoridis G., Dalsgaard T.K. Biodegradation of expanded polystyrene by mealworm larvae under different feeding strategies evaluated by metabolic profiling using GC-TOF-MS. *Chemosphere*. 2021; 130840. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.130840>
- Yang, Ding et al. Confirmation of biodegradation of low-density polyethylene in dark-versus yellow- mealworms (larvae of *Tenebrio obscurus* versus *Tenebrio molitor*) via. gut microbe-independent depolymerization. *Science of The Total Environment*. 2021; (789): 147915. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147915>
- Peng BY, Su Y, Chen Z, et al. Biodegradación del poliestireno por gusanos de la harina oscuros (*Tenebrio obscurus*) y amarillos (*Tenebrio molitor*) (Coleoptera: Tenebrionidae). *Ciencia y tecnología ambientales*. 2019; 53 (9), 5256-5265. <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b06963>
- Yang SS, Wu WM, Brandon AM, et al. Ubiquity of polystyrene digestion and biodegradation within yellow mealworms, larvae of *Tenebrio molitor* Linnaeus (Coleoptera: Tenebrionidae). *Chemosphere*. 2018; (212): 262-271. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.08.078>
- López, P M K. (2020). Supervivencia de larvas de dos especies de escarabajos *Tenebrio molitor* y *Dermestes* sp. expuestas a dietas basadas en dos tipos de plásticos (polietileno y poliestireno). Editorial. <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/21338>

Cardozo S ML. (2020) Biodegradación del poliestireno expandido por larvas de *Tenebrio molitor* L. (Coleóptera: Tenebrionidae), en condiciones de laboratorio. <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/34873>

Yang Y, Yang J, Wu WM, Zhao J, Song Y, Gao L, Yang R, Jiang L. Biodegradation and Mineralization of Polystyrene by Plastic-Eating Mealworms: Part 2. Role of Gut Microorganisms. *Environ Sci Technol.* 2015;20; 49 (20):12087-93. <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b02663>