

Artículo original

CONDICIONES AMBIENTALES Y BIOLÓGICAS DEL TENEBRIO MOLITOR EN LA DEGRADACIÓN DEL POLIESTIRENO

ENVIRONMENTAL AND BIOLOGICAL CONDITIONS OF TENEBRIUM MOLITOR IN THE DEGRADATION OF POLYSTYRENE

RENZA LUCRECIA ALBARRACÍN LIENDO¹

 <https://orcid.org/0000-0002-3440-7090>

CLAUDIA VANESSA CLAVIJO KOC²

 <https://orcid.org/0000-0003-2582-5618>

Recibido: 04/10/2021

Aceptado: 29/10/2021

Publicado: 19/11/2021

^{1,2} Escuela de Ingeniería Ambiental, Universidad Privada de Tacna, Perú

E-mail: ¹renzalbarracin@gmail.com ²claudiavck@hotmail.com



Resumen

La 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 clave: Biodegradación; Poliestireno; *Tenebrio molitor*.

Abstract

The research is based on the behavior of the *Tenebrio molitor* larva in polystyrene biodegradation, evaluating the biological and environmental conditions. For this, the larval stages, the evaluation in different percentages of substrate and the determination at different temperatures were determined. Each of these treatments were stored in plastic and / or glass containers. The consumption of polystyrene was evaluated by different stages of the *Tenebrio molitor* larvae; cataloging them as small, medium and large. The small and medium sizes 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 ° the consumption of polystyrene is reduced, and at low temperatures of 11 oC to 20 °C it increases. It is feasible to manipulate the environmental and biological conditions to achieve a better biodegradation process of polystyrene by *Tenebrio molitor*.

Keywords: Biodegradation; Polystyrene; *Tenebrio molitor*.

1. Introducción

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 Ellen MacArthur Foundation and McKinsey y Company (2016), indican que 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, así mismo a nivel mundial, el 50 % del total de residuos plásticos son plásticos de un solo uso (Geyer, 2017), a nivel local no es diferente porque existe un mal manejo de residuos sólidos que genera impacto en los ecosistemas acuáticos y gran parte de la contaminación es por el poliestireno expandido, este elemento derivado de polímeros es utilizado, tanto en empaquetado como en edificación (Castañeda-Rojas et al., 2020). Esta problemática generada por la poca reutilización y alta aglomeración en espacios inadecuados provocan un impacto negativo para las partes involucradas en el consumo del material mencionado; el cual es empleado principalmente por la industria de la construcción, alimentos y embalaje de electrodomésticos

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 (Cardozo, 2020) que es una especie de coleóptero con la capacidad de digerir el plástico (Portocarrero, 2021), por ello, una alternativa para disminuir los impactos de este tipo de materiales es hacer uso de esta especie, al respecto diversos estudios (Gómez, 2018; Peng et al., 2019; Álvarez, 2020; Rodríguez-Carreón, 2021) demuestran que es posible la utilización de la larva de tenebrio molitor para degradar poliestirenos y residuos orgánicos. Otros estudios demuestran que esta especie presenta una evolución temporal de la reaclimatación a 25 °C al 75 % de humedad relativa (Allen et al., 2012) y consume el poliestireno en su fase de larva y adulto, sin que esta dieta comprometa significativamente su supervivencia (Jacobo et al., 2019).

Por ello la investigación tienen como objetivo, evaluar las condiciones biológicas y ambientales de la biodegradación de poliestireno por tenebrio molitor.

2. Objetivo

La investigación tiene como objetivo evaluar las condiciones biológicas y ambientales de la biodegradación de poliestireno por tenebrio molitor.

3. Metodología

Las muestras de tenebrio molitor, como material biológico, se obtuvieron en una tienda agroveterinaria en estadio de larva, estas se almacenaron en envases de plástico con dimensiones aproximadas de 10 x 10 cm, luego se distribuyeron en tres muestras diferentes, considerando en tamaños grandes, medianos y pequeños, cada uno de los envases tenían sustrato y poliestireno con los mismos pesos.

Seguidamente se construyó invernaderos de vidrio en forma de cubo de 10 x 10 cm y

se ubicaron en un ambiente con temperatura promedio 22 °C máximo y 19,3 °C mínimo y humedad relativa de 80 % máximo y 70 % mínimo.

Se suministró como sustrato el salvado de trigo con diferente peso que consiste en tres tratamientos, con dos contra muestra cada uno. Posteriormente el control del peso del poliestireno se realizó cada semana para calcular la efectividad y así determinar el estadio más eficiente.

Inicialmente las larvas tenebrios molitor eran pequeñas en forma cilíndrica, de color amarillo y mientras pasaban los días fueron mudando de piel, así su masa inicial era 13 gramos que corresponde aproximadamente 100 tenebrios molitor. La cantidad inicial del salvado de trigo fue de 20, 25 y 30 gramos por tratamiento respectivamente.

La cantidad de poliestireno, en las muestras, fue de 1, 2 y 3 gramos en los tratamientos respectivamente.

Así mismo, se realizó el monitoreo de las condiciones climáticas por día en el proceso de estadio de la larva:

-Tratamiento 1 (T1): T1a y T1b – 28 °C a 30 °C

-Tratamiento 2 (T2): T2a y T2b – 22 °C a 25 °C

-Tratamiento 3 (T3): T3a y T3b – 20 °C a 22 °C

Donde a, b son contra muestras

4. Resultados

El estadio larvario se catalogó 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 3, donde se trabajó con el tamaño más pequeño (Tabla 1), en este tratamiento la variabilidad de los promedios fue menor comparado con los otros tratamientos.

Tabla 1

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

	Tratamiento 1	Tratamiento 2	Tratamiento 3
Promedio	0,034	0,117	0,122
Mediana	0,014	0,122	0,126
Desviación Estándar	0,044	0,027	0,008

Al hacer el análisis un análisis comparativo, se encontró diferencias significativas (p-valor =0,03) entre los tratamientos 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 tratamientos había un peso similar de los tenebrios.

Se puede observar en el tratamiento 1 (Figura 1) 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 2), 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 3 (Figura 3), el consumo es constante ajustando casi a un R2 de 1, sin embargo, la velocidad de consumo de poliestireno es más lento comparado con los otros tratamientos.

Figura 1

Evolución del Consumo de Poliestireno en el Tratamiento 1 (T1)

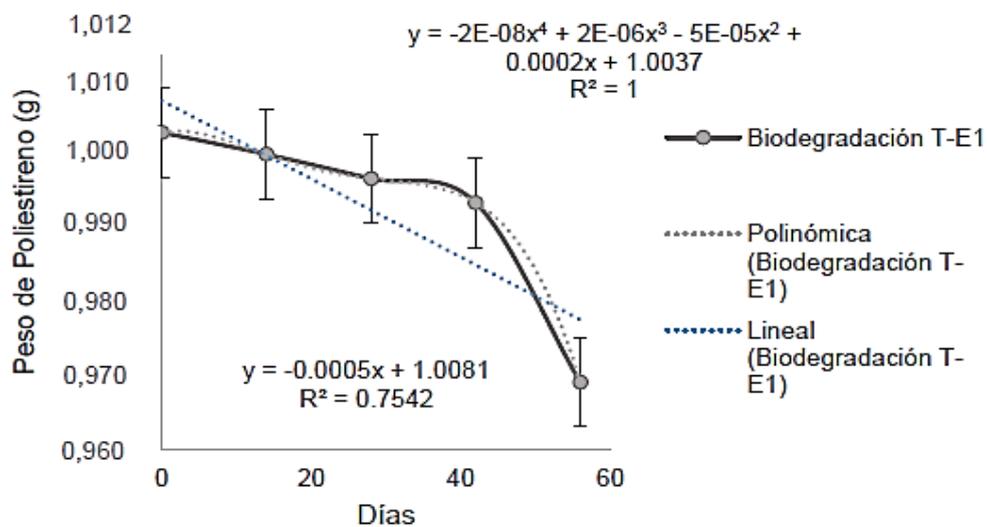
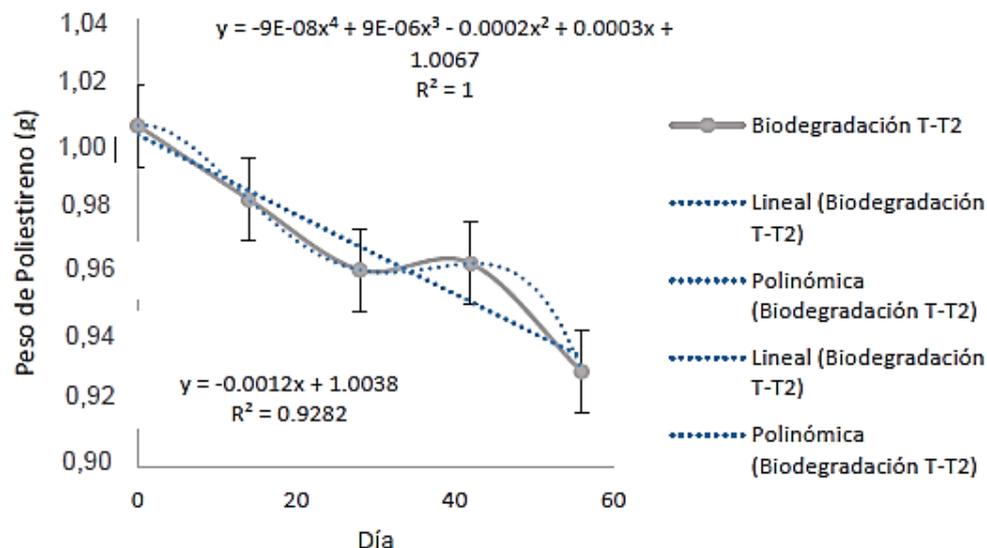


Figura 2

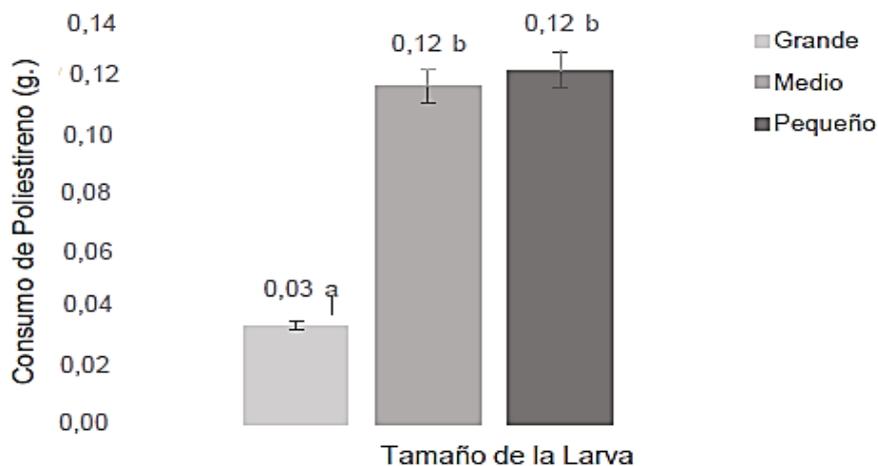
Evolución del Consumo de Poliestireno en el Tratamiento 2 (T2)



El tratamiento de tenebrios de tamaño grande tuvo un promedio de consumo de 0,03 g a diferencia de los tratamientos medianos y grandes con un promedio de 0,12 g. No se observó diferencias significativas entre los tratamientos de tamaño medio y pequeño (Figura 4).

Figura 4

Consumo de Poliéstireno Según el estadio Larvario

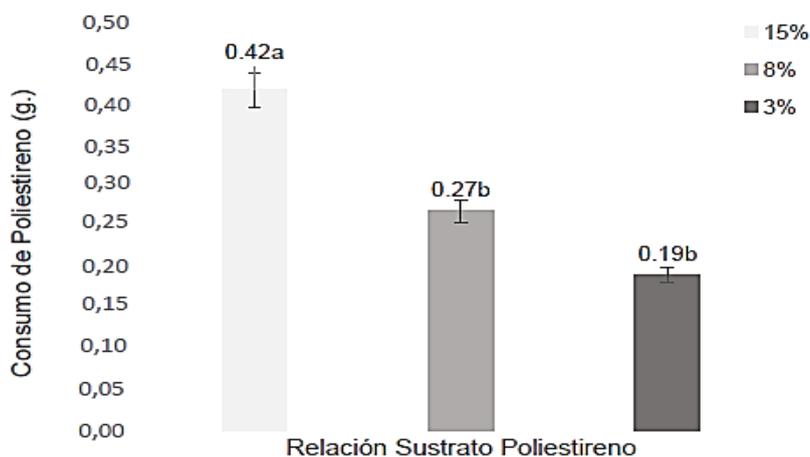


Nota. Análisis de Duncan, diferentes letras es diferencia significativa entre las medias de los tratamientos $p < 0,05$

El porcentaje de poliéstireno en relación con el alimento, siendo el tratamiento 1 (15 %), el tratamiento 2 (8 %) y el tratamiento 3 (3 %), el tratamiento 1 tuvo un consumo promedio de 0,42 g mayor a los tratamientos 2 y 3 con un promedio de 0,27 y 0,19 g respectivamente, el tratamiento con menor variabilidad fue el de 15 % de poliéstireno, a diferencia de los otros 2 con una mayor variabilidad en sus medias.

El mayor consumo de poliéstireno se observó en el tratamiento 1 (15 %), el cual tuvo un promedio mayor significativamente que el tratamiento 2 (8 %) y el 3 (3 %), demostrándose la influencia de la cantidad de poliéstireno en la biodegradación (Figura 5).

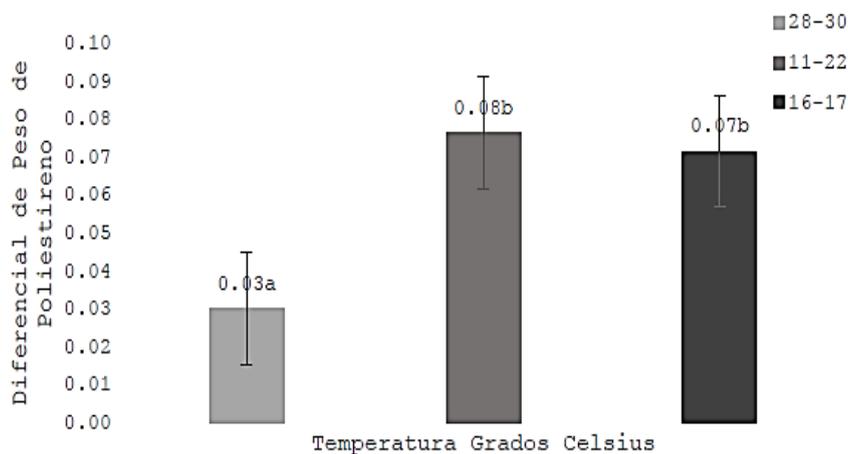
Figura 5

Consumo de Poliéstireno de *Tenebrio molitor* en Diferentes Porcentajes de Sustrato

El consumo de poliestireno, respecto a las temperaturas, en el primer tratamiento de 28 a 30 °C fue significativamente diferente a los tratamientos de temperaturas ambientales internas y externas que mantuvieron una temperatura promedio de 16,5 y 16,08 °C, el tratamiento 1 tuvo un consumo promedio de 0,03 gramos y en el 2 y 3, un consumo promedio de 0,08 y 0,07 gramos (Figura 6), demostrándose que la temperatura más adecuada para la biodegradación del poliestireno es 15 a 20 °C.

Figura 6

Consumo de Poliestireno de Tenebrio molitor a Diferentes Temperaturas



Nota. Análisis de Duncan, diferentes letras es diferencia significativa entre las medias de los tratamientos $p < 0,05$

5. Discusión

Consumos diferentes a los encontrados en la investigación han sido reportados por Chavesta Saavedra et al. (2019), quienes reportan un mayor consumo de poliestireno por las larvas de *Tenebrio molitor* en larvas más pequeñas. Se evidencia 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. (2021) evidenció la capacidad de consumir poliestireno en una segunda generación, lo que nos permite la posibilidad de trabajar de manera continua con los tenebrios.

La evolución respecto a la velocidad del consumo de poliestireno en diferentes proporciones de sustrato se evaluó durante 56 días. Como fue mayor en el tratamiento 1 y la velocidad disminuyó a menor proporción de poliestireno, ello evidencia que las larvas consumen el poliestireno en igual proporción que el alimento y no selecciona el sustrato orgánico sobre el poliestireno expandido y se podría trabajar con proporciones de hasta 15 % de poliestireno en un proceso de biodegradación. Yang et al. (2011) reportó que el consumo de proteína de soya incrementa el peso de los tenebrios en comparación con el alimento del poliestireno, por tal motivo, se trabajó en condiciones mixtas para evitar la mortalidad de los tenebrios en la experimentación.

Experimentaciones realizadas por Yang et al. (2021) demostraron que las larvas de tenebrios 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 del 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, según Brandon et al. (2018), quien realizó un análisis metagenómicos en 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 polímeros debido a sus estructuras moleculares.

Finalmente, 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. El *Tenebrio molitor* puede restringir su capacidad de adaptarse a cambios de temperatura y las altas temperaturas son nociva para la larva (Allen et al., 2012), no obstante, Sarmiento (2018) realizó una investigación a temperaturas de 28 °C a 34 °C, ello podría indicar que la sobrevivencia no se ve afectada, sin embargo, el consumo de poliestireno sí se vería afectada.

6. Conclusiones

La influencia del 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 presentan un proceso de biodegradación más lento debido al proceso de metamorfosis. Además, la proporción de poliestireno y alimento influye en la biodegradación de la larva, evidenció su capacidad de metabolizar el poliestireno debido a que no discriminó en el consumo de sustrato orgánico y el poliestireno. La degradación es más eficiente en temperaturas de promedio de 16 °C con tendencia a temperaturas bajas y disminuye las altas en promedio de 29 °C.

7. Referencias Bibliográficas

- Álvarez Estepa, D. N., y 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>
- Allen, J. L., Clusella-Trullas, S., y 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>
- Cardozo Sánchez, M. L. (2020). *Biodegradación del poliestireno expandido por larvas de Tenebrio molitor L. (Coleoptera: Tenebrionidae), en condiciones de laboratorio*. <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/34873>
- Castañeda-Rojas, G. H., Guerrero-Mendez, Y. J., y Salcedo-Díaz, L. N. (2020). Iniciativas relacionadas con economía circular para el aprovechamiento de residuos de un solo uso (poliestireno expandido EPS).
- Chavesta Saavedra, M. F., y 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>
- Ellen MacArthur Foundation and McKinsey y Company (2016). *The New Plastics Economy — Rethinking the future of plastics*. World Economic Forum.
- Geyer, Jambeck, y Law, (2017). Presente en el reporte Single Use Plastic de ONU-Medio Ambiente.
- Gómez García, W. L. (2018). Evaluación de un sistema de vermicultura utilizando larvas de hermetia illucens y tenebrio molitor para el aprovechamiento de los residuos sólidos generados en la Plaza de Mercado la Rosita. <https://repositorio.upch.edu.pe/handle/20.500.12866/9025>
- 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., y 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>
- Li, A., Qu, Y., Zhou, J., y 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)
- Peng, B.-Y., Su, Y., Chen, Z., Chen, J., Zhou, X., Benbow, M. E., Criddle, C. S., Wu, W.-M., y Zhang, Y. (2019). Biodegradation of Polystyrene by Dark (*Tenebrio obscurus*) and Yellow (*Tenebrio molitor*) Mealworms (Coleoptera: Tenebrionidae). *Environmental Science y Technology*, 53(9), 5256-5265. <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b06963>
- Portocarrero Estrada, F. R. (2021). Biodegradación de poliestireno con tenebrio molitor para la sostenibilidad de empresas. <https://repositorio.upch.edu.pe/handle/20.500.12866/9025>
- Przemieniecki, S. W., Kosewska, A., Ciesielski, S., y 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>
- Rodríguez-Carreón, A., Ortiz-Rivera, Y., Hernández-Peña, C. C., y Figueroa, C. (2021). Biodegradación de espumas plásticas por larvas de insectos: ¿una estrategia sustentable?. *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 24. <http://132.248.60.101/index.php/tip/article/view/311>
- Ru, J., Huo, Y., 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>
- Yang, L., Gao, J., Liu, Y., Zhuang, G., Peng, X., Wu, W.-M., y 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>