

CULTURE OF BLACK SOLDIER FLY LARVAE (*Hermetia illucens*) AS A STRATEGY FOR USE OF ORGANIC WASTE, CAJAMARCA

Juver Huaripata, Br¹, Arnold Carrasco, Br¹, Gary Christiam Farfán Chilicaus, Mg², Gladys S. Licapa–Redolfo, MSc.³,
Kenny Díaz, Br⁴, Miguel Ángel Arango-Llantoy, Mg⁵

¹Universidad Privada Antonio Guillermo Urrelo, Perú, juver091296@gmail.com

²Departamento de Ingeniería Metalúrgica, Universidad Nacional de Trujillo, Perú, gfarfanc@unitru.edu.pe

³Universidad Privada del Norte, Perú, gladys.licapa@upn.edu.pe

⁴Universidad Nacional de Cajamarca, Perú; kdiazr16_1@unc.edu.pe

⁵Universidad Nacional Autónoma de Chota, Perú, marango@unach.edu.pe

Abstract– The growing problem of waste generation generates a negative impact not only on ecosystems but also on an economic level. This research seeks to evaluate the degradative capacity of Hermetia illucens larvae to take advantage of organic waste product of anthropogenic activity in the city of Cajamarca, Peru. The culture of approximately 20,000 Hermetia illucens larvae was carried out on 10 kg of substrate composed of organic waste under adequate environmental conditions for a period of 15 days, determining that the larvae present an efficiency of 64.3% degrading organic waste, at them at the same time, an increase in mass of the larvae in the prepupal state of 4.97 Kg was evidenced, which contains a high value of proteins and usable fats. Therefore, this research presents an innovative strategy that promotes the cultivation of protein, the valuation of organic waste and suggests a promising solution to the problems of waste management.

Keyword-- Black Soldier Fly Larva, Biotransformation, Organic Waste, Prepupal Mass, Hermetia illucens.

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).

ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).

DO NOT REMOVE

CULTIVO DE LARVAS DE MOSCA SOLDADO NEGRO (*Hermetia illucens*) COMO ESTRATEGIA DE APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS, CAJAMARCA

Juver Huaripata, Br¹, Arnold Carrasco, Br², Gary Christiam Farfán Chilicaus, Mg³, Gladys S. Licapa-Redolfo, MSc.⁴, Kenny Díaz, Br⁵, Miguel Ángel Arango-Llantoy, Mg⁶

^{1,2}Universidad Privada Antonio Guillermo Urrelo, Perú, juver091296@gmail.com

³Departamento de Ingeniería Metalúrgica, Universidad Nacional de Trujillo, Perú, gfarfanc@unitru.edu.pe

⁴Universidad Privada del Norte, Perú, gladys.licapa@upn.edu.pe

⁵Universidad Nacional de Cajamarca, Perú; kdiazr16_1@unc.edu.pe

⁶Universidad Nacional Autónoma de Chota, Perú, marango@unach.edu.pe

Abstract– El creciente problema de la generación de residuos genera un impacto negativo no solo a los ecosistemas sino también a nivel económico. Esta investigación busca evaluar la capacidad degradativa de larvas de *Hermetia illucens* para aprovechar los residuos orgánicos producto de la actividad antropogénica de la ciudad de Cajamarca, Perú. Se realizó el cultivo de aproximadamente 20,000 larvas de *Hermetia illucens* sobre 10 kg de sustrato compuesto por residuos orgánicos bajo condiciones ambientales adecuadas durante un periodo de 15 días, determinándose que las larvas presentan una eficiencia de 64,3% degradando los residuos orgánicos, a su vez se evidenció un incremento en masa de las larvas en estado prepupal de 4,97 Kg la cual contiene un alto valor de proteínas y grasas aprovechables. Por lo tanto, esta investigación presenta una estrategia innovadora que promueve el cultivo de proteína, la valoración de residuos orgánicos y sugiere una solución prometedora a los problemas de la gestión de residuos.

Palabras Clave-- Larva de mosca soldado negro, Biotransformación, Residuos Orgánicos, Masa Prepupal, *Hermetia illucens*.

I. INTRODUCCIÓN

Uno de los principales problemas ambientales de escala global es la generación de residuos [1], la ONU a través de un informe de la FAO indica que, de 931 millones de toneladas de alimentos, un 17% termina como parte de residuos domésticos o establecimientos como bodegas, restaurantes u otros relacionados a los servicios alimentarios [2]. En la actualidad el Perú genera diariamente un aproximado de 19000 toneladas de residuos sólidos, de los cuales un 52% es dispuesto en 34 rellenos sanitarios existentes y el 48% restante en 1,585 botaderos informales [3,4,5]. Esta situación empeora año tras año debido al rápido crecimiento poblacional que trae como consecuencia el incremento de residuos sólidos [6], de entre los

cuales, los residuos orgánicos puesto que a nivel mundial representan un 46% del total de residuos [7], son lo que generan mayor impacto ambiental puesto que su descomposición emite gases de efecto invernadero como el metano y CO₂, además de lixiviados que deterioran la calidad del agua [8,9].

En 2022 se informó que la ciudad de Cajamarca dispone diariamente 180 toneladas de residuos al día de los cuales 55% son residuos orgánicos, que a lo largo del año acumularán 36 mil toneladas y que por su naturaleza representan un sustrato fácilmente aprovechable gracias a que en los últimos años se han venido explorando alternativas sostenibles que les den un valor agregado [10,11], tales como el compostaje o procesos de degradación a través de organismos vivos entre los que destacan diversos géneros de hongos, bacterias y además la vermicultura [12] en la que se emplean larvas de insectos como la mosca soldado negro (MSN) *Hermetia illucens* que aprovechan los nutrientes propios de los residuos orgánicos que a través de un proceso llamado biotransformación los convierten en biomasa que la FAO ha señalado como una fuente rica de nutrientes, llegando a contener 42%-44% de proteína cruda y entre 31%-35% de grasa. [13,14,15,16]

La biotransformación por su parte es un proceso a través del cual los residuos adquieren un valor añadido y se transforman en otro compuesto, en el caso de los insectos, en biomasa aprovechable [17,18], esta se calcula mediante la relación entre la cantidad de sustrato consumido y la eficiencia del consumo a través de variables como el peso de las larvas en estado prepupal, la tasa de reducción de residuos y la tasa de bioconversión [13,19]. Estudios que han evaluado la eficiencia para reducir residuos orgánicos de las larvas de *Hermetia illucens* indican que, dependiendo de la composición del sustrato, las tasas de reducción podrían variar siendo 51,81% para sustratos conformados por frutas y verduras, 52,8% para residuos de comida de restaurantes y 55,76% para residuos de vísceras y restos animales, siendo este último el sustrato en el que se presenta mayor eficiencia [20]. Además, cuando la

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).

ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).

DO NOT REMOVE

materia orgánica atraviesa el proceso de biotransformación extiende su vida útil gracias al ciclo de reciclaje de nutrientes por parte de las larvas de MSN [21].

Esta investigación busca evaluar la eficiencia que tendrán las larvas de *Hermetia illucens* para la biotransformación de residuos orgánicos locales producto de la actividad antropogénica en la ciudad de Cajamarca, Perú; con la finalidad de establecer una alternativa sustentable que contribuya a solucionar los problemas de la generación de residuos, dándoles valor añadido que permita el cultivo eficiente de organismos con gran valor nutricional como lo son las moscas soldado negro, las cuales a su vez pueden ser aprovechadas en campos como la avicultura.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

A. Ubicación

El estudio se realizó en un terreno ubicado en el centro poblado Otuzco del distrito de baños del inca de la ciudad de Cajamarca, provincia de Cajamarca, en la región Cajamarca, Perú, donde se instaló el sistema de crianza de la larva de mosca soldado negro (*Hermetia illucens*). La ubicación exacta se precisa con los siguientes datos geográficos:

- 1) *Ubicación del Sistema de Crianza:* Coordenadas UTM;
- 2) *Coordenada Este:* 780429,52;
- 3) *Coordenada Norte:* 9211488,30;
- 4) *Altitud:* 2694 m.s.n.m.



Fig. 1 Ubicación del sistema de crianza de la larva de mosca soldado negro (*Hermetia illucens*).

B. Construcción del sistema de crianza de la larva de mosca soldado negro (*Hermetia illucens*).

La estructura, disposición y dimensiones del sistema de crianza de las larvas de MSN se detalla en la figura 2, mientras que los parámetros requeridos se especifican en la Tabla I.

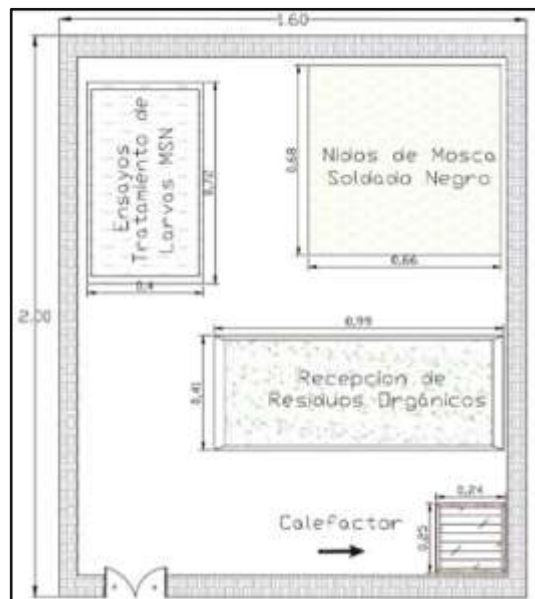


Fig. 2 Plano del sistema de crianza de moscas soldado negro (*Hermetia illucens*).

TABLA I
PARÁMETROS REQUERIDOS PARA EL DISEÑO DEL SISTEMA DE CRIANZA.

Parámetros	Valor	Unidad
Temperatura	21 a 27	°C
Humedad relativa	40 a 60	%
pH	1 a 8	pH

C. Protocolo de estudio.

Se empezó con la obtención e identificación de los instrumentos y material biológico para el desarrollo del ensayo experimental de la degradación o bioconversión de los residuos orgánicos por ingesta de las larvas de mosca soldado negro (*Hermetia illucens*).

D. Obtención de las larvas de mosca soldado negro.

Se adquirieron 2g de huevos de MSN en un sistema de crianza local ubicado en la ciudad de Chiclayo, Perú. Los huevos fueron trasladados a un sistema de crianza con sustrato especial para promover la eclosión y el desarrollo durante 5 días, el desarrollo previo al proceso de experimentación es necesario para conseguir una cantidad suficiente de larvas en estado prepupal.

E. Obtención y características de los residuos orgánicos para el tratamiento.

El sustrato estuvo constituido por muestras de recolección puntual de los residuos orgánicos municipales en la ciudad de Cajamarca, procedentes de hogares y restaurantes. Se consideró una muestra de 10 kg de residuos orgánicos, principalmente frutas, verduras y carne.

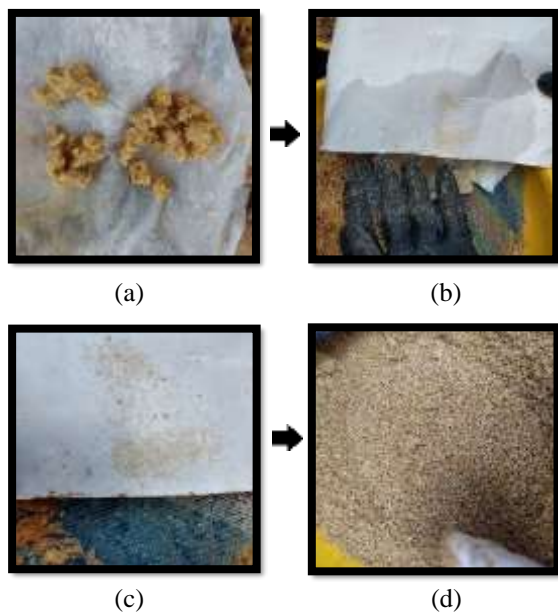


Fig. 3 Proceso de desarrollo de los Huevos de Mosca Soldado Negro: (a) Huevos de *Hermetia illucens*; (b) Eclosión de los huevos de *Hermetia illucens*; (c) Eclosión de los huevos de *Hermetia illucens*; (d) Larvas de Mosca soldado negro (*Hermetia illucens*) después de 5 días de la eclosión.

F. Ensayo de alimentación y evaluación de biotransformación.

Para el ensayo de degradación de residuos orgánicos se procedió a preparar el sustrato triturando los restos más grandes para obtener residuos de tamaño uniforme, se calcularon 5kg del primer sustrato en el que se procedió a colocar las 20,000 larvas que eclosionaron de 2g de huevos de mosca soldado negro (*Hermetia illucens*), fueron esparcidas uniformemente en el sistema de crianza y se mantuvieron en condiciones ambientales adecuadas Tabla I.

G. Tratamiento de los residuos con las larvas de mosca soldado negro.

El tratamiento se desarrolló en un periodo total de 15 días, el día 1 se agregó las 20000 larvas al contenedor junto al primer sustrato de 5kg de residuos orgánicos, el día 5 se adicionó al contenedor el segundo sustrato de 3kg, el día 8 se adicionó al contenedor el tercer sustrato de 1kg y el día 12 se adicionó el último sustrato de 1kg, siendo la cantidad total de sustrato 10 kg. El ensayo se desarrolla en el sistema de crianza acondicionado en el que se midió el pH usando un pHmetro, el pH nunca fue mayor a 8, la temperatura se mantuvo entre 21 a 27 °C con la ayuda de un calefactor y la humedad relativa osciló entre 40 y 60 %, ambos parámetros se midieron utilizando un termohigrómetro.

H. Desarrollo de las larvas de mosca soldado negro (*Hermetia illucens*).

Se midió el aumento en longitud de las larvas utilizando una regla milimétrica, el incremento de peso se cuantificó con

una balanza. Los datos fueron tomados diariamente durante los 15 días en los que se desarrolló el experimento.

I. Post tratamiento de larvas de mosca soldado negro (*Hermetia illucens*).

Al culminar el tratamiento se procedió a separar las larvas alimentadas con los residuos orgánicos, fueron introducidas en un recipiente con agua a 100 °C, posteriormente se introdujo el producto final en un recipiente de vidrio que se almacenó en una refrigeradora.

III. RESULTADOS

A. Resultados de la eficiencia de las larvas MSN.

El cálculo de la eficiencia de reducción de residuos orgánicos utilizando las larvas de mosca soldado negro (*Hermetia illucens*), se realizó en función de la ingesta del sustrato, para lo cual se cuantificó la materia orgánica degradada en el ensayo de experimentación, mediante el cálculo de la eficiencia de reducción de los residuos.

El porcentaje residuos orgánicos consumidos se calcula como indica la ecuación (1) de la tasa de reducción de residuos (RR).

$$RR = \frac{\text{Alimento añadido (Kg)} - \text{residuo alimento (Kg)}}{\text{Alimento añadido (Kg)}} \times 100. \quad (1)$$

Al finalizar las pruebas experimentales se tiene una reducción de alimento al 64,3% que indica la Tabla II, es decir, un grupo de 20 000 larvas MSN cuenta con una eficiencia de reducir más de la mitad de un sustrato de 10 kg de residuo orgánico.

La cantidad de alimento transformado en biomasa prepupal se calcula utilizando la ecuación (2) de la tasa de bioconversión (TB).

$$TB = \frac{\text{Peso de la biomasa prepupal (Kg)}}{\text{Alimento añadido (Kg)}} \times 100. \quad (2)$$

En la Tabla II, se observa la tasa de bioconversión de 49,7% que representa la capacidad de convertir los residuos orgánicos en biomasa.

TABLA II
EFICIENCIA DE TRATAMIENTO DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS USANDO LARVAS DE MSN.

Resultados	Valor
Masa de residuos orgánicos	10 kg
Masa de residuos consumidos	6,43 kg
Masa de residuos orgánicos restantes	3,57 kg
N° de larvas MSN	20,000
Masa prepupal (20,000 larvas)	4,97 kg
Tasa de reducción de residuos (RR)	64,3 %
Tasa de Bioconversión (TB)	49,7 %

En la Tabla III, se detallan los aspectos descriptivos de la masa consumida durante los 15 días. Se obtuvo un promedio de 0,4287 kg de consumo diario de materia orgánica, la mediana fue de 0,37, una moda múltiple, una desviación estándar de 0,28339 y un consumo diario máximo de 1 kg y un mínimo de 0,06 g.

TABLA III
DESCRIPTIVOS DE LA MASA CONSUMIDA EN KILOGRAMOS.

Media	Mediana	Moda	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
0,4287	0,3700	0,06*	0,28339	0,06	1,00

B. Eficiencia de la larva para aprovechar residuos orgánicos.

La incidencia de la variable independiente sobre la dependiente se verifica en la Tabla IV, encontrando una correlación positiva muy alta, además de un gran tamaño de efecto según el R² tal como se aprecia en la figura 4, lo que nos indica que cuanto mayor sea el tamaño de las larvas, mayor será el consumo de los residuos orgánicos Fig. 4, y cuanto mayor sea el peso de las larvas, mayor será el consumo de la masa de los residuos orgánicos Fig. 5

TABLA IV
CORRELACIONES TOTALES DE LAS VARIABLES Y DIMENSIONES.

		Tamaño (cm)	Peso (g)
Masa consumida (kg)	Correlación de Pearson	0,985**	0,990**
	Sig. (bilateral)	0,000	0,000
	N	15	15

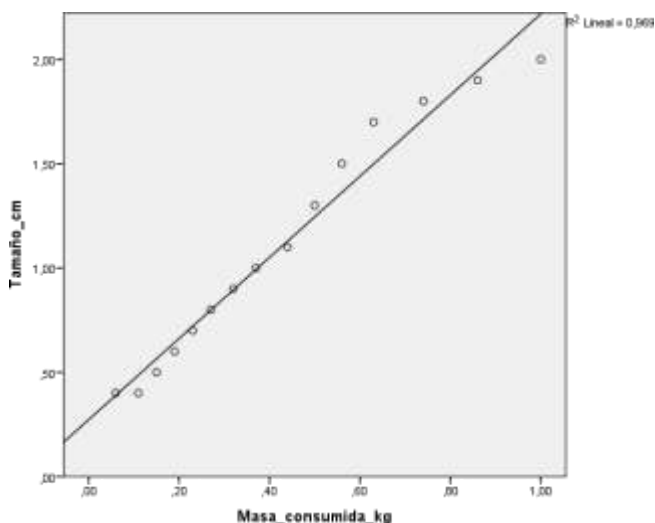


Fig. 4 Dispersión de puntos de la incidencia del tamaño de las larvas en la masa consumida.

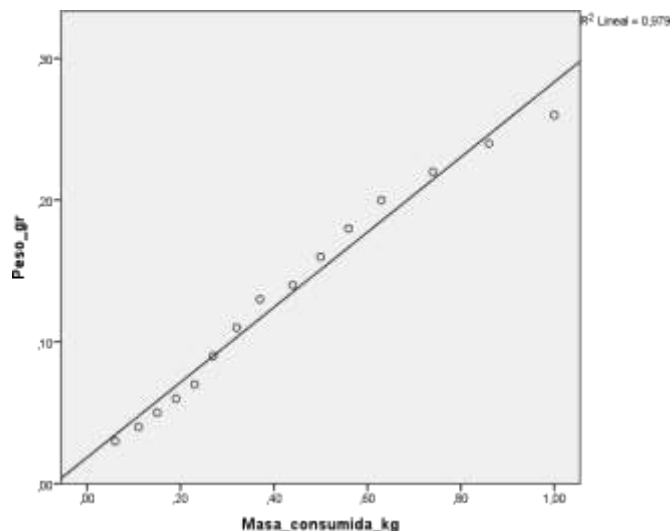


Fig. 5 Dispersión de puntos de la incidencia del peso de las larvas en la masa consumida.

En la Tabla V, se muestran los coeficientes totales de las variables analizadas, se obtiene una significancia para ambos casos, tanto variable dependiente como independiente, menor a 0,05, estando dentro del margen de error permitido, indicando que es factible elaborar la ecuación de proyección con las variables analizadas.

TABLA V
COEFICIENTES TOTALES (MASA CONSUMIDA X PESO)

Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error estándar	Beta		
1 (Constante)	-0,060	0,022		-2,666	0,019
Peso g	3,700	0,149	0,990	24,917	0,000

De este modo siendo la ecuación (3) y ecuación (4):

$$y = a + bx. \quad (3)$$

$$y = -0,06 + 3,7x. \quad (4)$$

Lo cual indica que el consumo de masa de residuos orgánicos es igual a -0,06 kg más 3,7 veces el peso en gramos de la larva MSN, de esta manera se comprende mediante las dos ecuaciones elaboradas, cuán eficiente es la larva en consumir residuos orgánicos, dependiendo del tamaño y peso que este tenga.

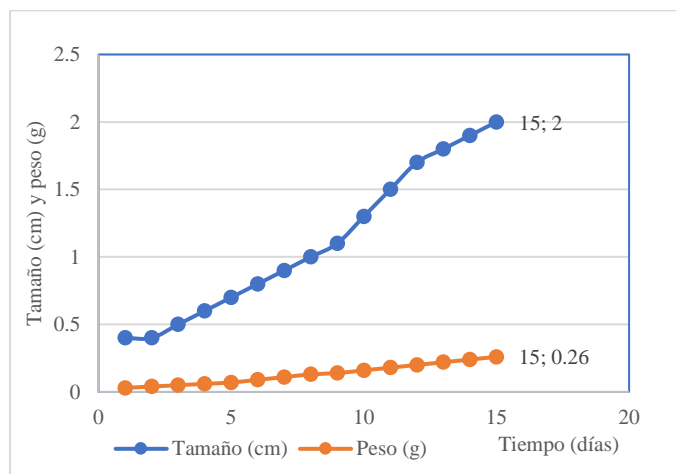


Fig. 6 Monitoreo de Desarrollo de larvas MSN.

IV. DISCUSIÓN

La bioconversión de materia orgánica con el uso de sistemas biológicos ha tenido un amplio progreso en las últimas décadas, y la mosca soldado negro (*Hermetia illucens*), por contener altos niveles de proteína y grasa, se perfila como un alimento potencialmente beneficioso para la crianza de animales, como se muestra en la figura 7, donde se evidencia cómo la biomasa de las larvas obtenida al final del proceso experimental fue utilizada como alimento de aves de corral, pero también se sabe que puede ser un complemento esencial en la alimentación de cerdos y peces, gracias a que además la biomasa de las larvas presenta altos contenidos de calcio [22, 23]. Los resultados apuntan además a la posibilidad de implementar un sistema de bioconversión de residuos sólidos municipales que sea seguro y eficiente, para lo que se necesitaría además mejorar la segregación de residuos para mejorar el proceso de bioconversión, elevando los porcentajes de degradación de materia orgánica y de producción de biomasa [24].

Los resultados obtenidos con respecto a la biotransformación de materia (49,7%) se encontraron muy por encima de otros proyectos similares; Diener y su equipo, en el año 2015 obtuvieron un 20% de bioconversión de materia orgánica estimando una producción de 200 Kg de biomasa por cada 1000 Kg de residuos orgánicos proveniente de una zona alejada del centro urbano [25]; en el experimento realizado por Dortmunds en el año 2015, obtuvieron un 85% de reducción de la materia orgánica húmeda que es superior al 64,3% de reducción de residuos del presente proyecto [26]; Así también, más recientemente en el año 2021, Cabrera y López consiguieron un porcentaje de biotransformación de aproximadamente 15% pero con una capacidad de reducción de los residuos de 76% utilizando biorreactores y añadiendo sustrato diariamente, notando que más del 68% de la masa inicial de residuos se convirtió en emisiones de gases que

fueron eliminados a la atmósfera, compuestos principalmente de carbono, nitrógeno o metano [27].

A pesar de lo mencionado, se sabe que distintos factores pueden influir en los índices de bioconversión de materia residual a biomasa, como la temperatura, que no debe sobrepasar los 30°C pues se ha establecido como la temperatura óptima para crianza de con *Hermetia illucens* [28], el tipo de sustrato que se le proporciona a las larvas el cual puede no solamente estar compuesto por residuos orgánicos como residuos de comida, sino también pueden estar compuestos de estiércol de porcino o bovino, lodos fecales, residuos oleosos entre otros [29,30]. Además, otro factor importante será la densidad larval y la cantidad de alimento que se les proporcione, siendo la densidad óptima de 1,2 larvas/cm² y una ratio de alimentación de 163 mg/larva /día [31] que es mucho mayor que lo consumido por las larvas de este experimento que fue aproximadamente de 55 mg/larva/día, por lo que hacer un estudio que cuantifique la cantidad de sustrato proporcionado podría optimizar el proceso de producción de biomasa y alentando apuestas futuras de proyectos de desarrollo tecnológico que permitan la crianza de la mosca *Hermetia illucens* para alimentación animal y el uso de los subproductos en fertilización de cultivos orgánicos.

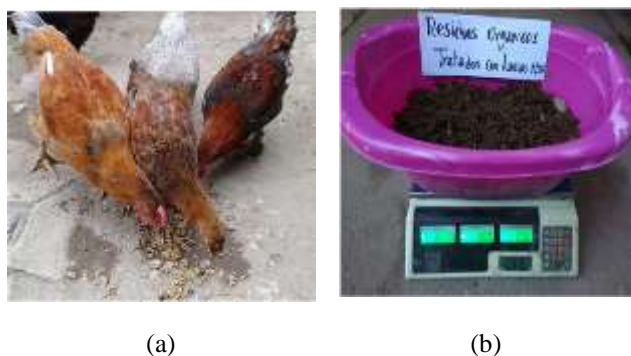


Fig. 7 Productos obtenidos de la degradación de materia orgánica con larvas de MSN: (a) biomasa aprovechable para la alimentación avícola; (b) residuos orgánicos tratados aprovechables como fertilizante.

V. CONCLUSIONES

Se concluye que la eficiencia de reducción de residuos orgánicos mediante la ingesta de las larvas (*Hermetia illucens*), resulta 64,3%, logrando reducir más de la mitad de residuos orgánicos empleados, indicando un efecto positivo en la investigación, de la misma forma la tasa de bioconversión muestra un resultado de 49,7%, indicando que se logró aprovechar los residuos convirtiéndola en nueva materia conteniendo altos índices de proteína y grasas presentando una correlación positiva elevada y un tamaño de efecto grande entre la masa consumida y el tamaño y peso de la larva con $R^2=0,969$; $R^2=0,979$; $p<0,05$.

Finalmente se monitoreó el desarrollo de las larvas MSN en su tamaño y peso al ser alimentadas por residuos orgánicos siendo constante y progresivo reflejando el aprovechamiento de los residuos, llegando un tamaño de 2 cm y 0,26 g en peso en el día 15. En ese sentido se determinó que el desarrollo de las larvas MSN mediante la degradación de los residuos orgánicos por ingesta de estas se aplica en un tiempo óptimo de no más de 15 días para que las larvas puedan alcanzar su punto máximo de desarrollo y aprovechar la proteína que se encuentra en los residuos y la degradación de los residuos orgánicos es progresiva gracias a la ingesta de las larvas, generando un incremento de tamaño y peso en ellos. Consumiendo hasta 6,43 kg hasta el día 15.

REFERENCIAS

- [1] G. Canchari Silverio y O. Ortiz Sanchez, "Valorización de los residuos sólidos en la Ciudad Universitaria de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos (2008)", *Revista Del Instituto De investigación De La Facultad De Minas, Metalurgia Y Ciencias geográficas*, vol. 11, no. 21, pp. 95–99. Julio 2015. <https://doi.org/10.15381/iigeo.v11i21.521>
- [2] United Nations Environment Program, "Food Waste Index Report", *ISBN*, no. 978-92-807-3851-3, 2021.
- [3] MINAM, "Plan Nacional de Gestión Integral de Residuos Sólidos 2016-2024", *Plan Nacional, Lima: Ministerio del Ambiente*, 2016.
- [4] OEFA, "La inadecuada disposición final de residuos sólidos en el Perú", 2014, Disponible en: <http://www.oefa.gob.pe/wp-content/uploads/2013/12/reporte-3-botaderos-criticos.jpg> (Consultado el 07 de junio de 2022).
- [5] OEFA, "OEFA identifica 1585 botaderos informales a nivel nacional", 2018, Disponible en: <https://www.oefa.gob.pe/oefa-identifica-1585-botaderos-informales-nivel-nacional/ocac07/> (Consultado el 07 de junio de 2022).
- [6] A. Reyes Curcio, N. Pellegrini Blanco y R. Reyes Gil, "El reciclaje como alternativa de manejo de los residuos sólidos en el sector minas de Baruta, Estado Mirya, Venezuela. (2015)", *Revista de Investigación*, vol. 39, no. 86, pp. 157-170, Recuperado en 08 de junio de 2022, de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1010-29142015000300008&lng=es&tlng=es.
- [7] D. Hoornweg y P. Bhada-Tata, "What a Waste: A Global Review of Solid Waste Management", *World Bank*, pp. 116, 2012.
- [8] A. Saer, S. Lansing, N. Davitt, y R. Graves, "Life cycle assessment of a food waste composting system: environmental impact hotspots. (2013)", *Journal of Cleaner Production*, vol. 52, pp. 234–244. doi:10.1016/j.jclepro.2013.03.022
- [9] E. Gómez, "Afectaciones ambientales de los lixiviados generados en los rellenos sanitarios sobre el recurso agua" Monografía de grado, *Universidad Industrial de Santyer*, Bucaramanga, Colombia, 2018.
- [10] Municipalidad Provincial de Cajamarca, "Municipalidad de Cajamarca busca recolectar tonelada y media de productos reciclables en nueva campaña programada para el 13 de mayo en el sector La Merced.", Disponible en: <https://www.municaj.gob.pe/noticia/municipalidad-de-cajamarca-busca-recolectar-tonelada-y-media-de-productos-reciclables-en>, Consultado el 08 de junio de 2022.
- [11] C. Edwards, I. Burrows, K. Fletcher y B. Jones, "The use of earthworms for composting farm wastes.", *Gasser, J. K. R. (ed) Composting of Agriculture y Other Wastes*, pp.229–242, Amsterdam, 1985.
- [12] U. Ali, N. Sajid, A. Khalid, L. Riaz, M. Rabbani, J. Syed y R. Malik, "A review on vermicomposting of organic wastes.", *Environmental Progress & Sustainable Energy*, vol. 34, no. 4, pp. 1050–1062, 2015, doi:10.1002/ep.12100
- [13] C. Chun, L. Yoong, L. Kim, T. Hock y L. Ling, "Comparison of *Hermetia illucens* larvae and pre-pupae as potential aqua feed derived from the biotransformation of organic waste." International Symposium on Green Y Sustainable Technology (ISGST2019), 2019, doi:10.1063/1.5126543
- [14] A. van Huis, J. van Isterbeeck, H. Klunder, E. Mertens, A. Halloran, G. Muir y P. Vantomme, "Edible Insects: Future Prospects for Food y Feed Security.", Food y Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2013
- [15] S. St-Hilaire, C. Sheppard, J. Tomberlin, S. Irving, L. Newton, M. McGuire y W. Sealey, "Fly prepupae as a feedstuff for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*)", *Journal of the World Aquaculture Society*, vol. 38, pp. 59–67, 2007, <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.2006.00073.x>
- [16] G. Yu, Y. Chen, Z. Yu y P. Cheng, "Research progression on the larvae y prepupae of black soldier fly *Hermetia illucens* used as animal feed stuff.", *Chinese Bulletin of Entomology*, vol. 46, pp. 41–45, 2009.
- [17] V. Dave, P. Khirwadkar y K. Dashora, "A review on biotransformation.", *Indian Journal of Research in Pharmacy y Biotechnology*, vol. 2, no. 2, 2014.
- [18] S. Lim, L. Lee y T. Wu, "Sustainability of using composting y vermicomposting technologies for organic solid waste biotransformation: recent overview, greenhouse gases emissions y economic analysis.", *Journal of Cleaner Production*, vol. 111, pp. 262–278, 2016, doi:10.1016/j.jclepro.2015.08.083
- [19] X. Xiao, P. Jin, L. Zheng, M. Cai, Z. Yu, J. Yu y J. Zhang, "Effects of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal protein as a fishmeal replacement on the growth y immune index of yellow catfish (*Pelteobagrus fulvidraco*).", *Aquaculture Research*, vol. 49, no. 4, pp. 1569–1577, 2018, doi:10.1111/are.13611
- [20] J. Morales, "Biotransformación de residuos orgánicos a partir del manejo ex situ de *Hermetia illucens* (L., 1758) (*Diptera: Stratiomyidae*) como una alternativa para la gestión sostenible de los desechos sólidos en el Distrito Metropolitano de Quito.", Trabajo de Titulación, *Universidad Central del Ecuador*, Quito, Ecuador, 2021.
- [21] N. Studt, "Uso de Larvas de Mosca Soldado Negro (*Hermetia illucens*) Para El Manejo De Residuos Municipales Orgánicos En El Campus De La Universidad Earth, Costa Rica.", Tesis de Graduación, *Instituto Tecnológico de Costa Rica*, Cartago, Costa Rica, 2010.
- [22] G. Newton, C. Booram, R. Barker y O. Hale, "Dried *Hermetia illucens* Larvae Meal as a Supplement for Swine.", *Journal of Animal Science*, vol. 44, no. 3, pp. 395–400, Marzo 1997, <https://doi.org/10.2527/jas1977.443395x>
- [23] X. Xiao, P. Jin, L. Zheng, et al., "Effects of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal protein as a fishmeal replacement on the growth y immune index of yellow catfish (*Pelteobagrus fulvidraco*)", *Aquac Res.*, vol. 49, pp. 1569– 1577, 2018, <https://doi.org/10.1111/are.13611>
- [24] G. Pimentel da Silva y T. Hesselberg, "A review of the use of black soldier fly larvae, *Hermetia illucens* (L., 1758) (*Diptera: Stratiomyidae*), to compost organic waste in tropical regions.", *Neotropical Entomology*, vol. 49, 2019, 10.1007/s13744-019-00719-z.
- [25] S. Diener, C. Lalander, C. Zurbrugg, B. Vinnerås, "Opportunities and constraints for medium- scale organic waste treatment with fly larvae composting". In: Conference Proceedings Sardinia (2015), Fifteenth International Waste Management and Landfill Symposium, Sardinia, Cagliari, Italy, 2015.
- [26] B. Dortmans, "Effect of the Feeding Regime on Process Parameters in a Continuous Black Soldier Fly Larvae Composting System.", Master's thesis, *Institutionen för Energi och Teknik*, Sweden, 2015.
- [27] D. Cabrera Gutiérrez y A. López Gutiérrez, "Evaluación de la larva de mosca soldado-negra (*Hermetia illucens*) como alternativa para la degradación de residuos sólidos urbanos.", Trabajo de grado, Fundación Universidad de América, *Repositorio Institucional Lumieres*, 2021, <https://hdl.hyle.net/20.500.11839/8329>
- [28] F. Gobbi, "Biología reproductiva y caracterización morfológica de los estadios larvarios de *Hermetia illucens* (L., 1758) (*Diptera: Stratiomyidae*). Bases para su producción masiva en Europa.", *Universidad de Alicante*, Alicante, 2012.
- [29] S. Diener, C. Zurbrugg y K. Tockner, "Conversion of organic material by black soldier fly larvae: establishing optimal feeding rates." *Waste Manag Res*, vol. 6, pp. 603-610, Septiembre 2009, doi: 10.1177/0734242X09103838
- [30] L. Rodriguez Jabalera, "Bioconversión y biodegradación de diferentes sustratos orgánicos uso *Hermetia illucens* (*Diptera: Stratiomyidae*) y

descripción del ciclo de vida bajo estas dietas.”, Proyecto especial de Graduación, *Escuela Agrícola Panamericana*, Zamorano. Honduras. 2021.

[31] A. Parra Paz, N. Carrejo y C. Gómez Rodríguez, “Effects of Larval Density y Feeding Rates on the Bioconversion of Vegetable Waste Using Black Soldier Fly Larvae *Hermetia illucens* (L., 1758), (*Diptera: Stratiomyidae*).”, *Waste Biomass*, vol. 6, pp. 1059–1065, <https://doi.org/10.1007/s12649-015-9418-8>.