

Evaluación de sustratos para la incubación y eclosión de la mosca soldado negra (*Hermetia illucens*)

Evaluation of Substrates for the Incubation and Hatching of the Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*)

Mailyn Sanchez¹   Adrián Riascos²  

Estudiante de ingeniería Agroecológica, Universidad de la Amazonia, Puerto Asís Putumayo, Colombia.¹
Investigador, SENA Regional Putumayo, Puerto Asís Putumayo, Colombia.²

ISSN 2619-2608

DOI: <https://doi.org/10.34069/RA/2026.17.08>

Cómo citar:

Sanchez, M., & Riascos, A. (2026). Evaluación de sustratos para la incubación y eclosión de la mosca soldado negra (*Hermetia illucens*). *Revista Científica Del Amazonas*, 9(17), 113-120. <https://doi.org/10.34069/RA/2026.17.08>

Recibido: 9 de febrero de 2026

Aceptado: 15 de junio de 2026



Resumen

La mosca soldado negra (*Hermetia illucens*, Diptera: Stratiomyidae) representa una especie clave para la bioconversión de residuos en modelos de economía circular. No obstante, la eficiencia de su producción masiva está condicionada por el éxito en la fase de incubación. En este estudio se evaluó la tasa de eclosión de huevos bajo un Diseño Completamente Aleatorizado (DCA) con tres tratamientos y tres repeticiones por tratamiento. Las unidades experimentales consistieron en 50 huevos dispuestos en cajas Petri bajo condiciones controladas (27-30 °C y 60-70% de humedad relativa). Se compararon tres sustratos: residuos de frutas (T1), estiércol de vaca (T2) y una mezcla equilibrada de ambos (T3). Los resultados indicaron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre tratamientos; la mezcla (T3) alcanzó el mayor porcentaje de eclosión con un 88.67%, seguida por el sustrato de frutas (T1) con un 76%. El estiércol puro (T2) mostró un efecto inhibitorio severo con solo un 4% de eclosión. Se concluye que La incubación de la mosca soldado negra es significativamente más eficiente utilizando mezclas de residuos de frutas y estiércol de vacuno que empleando estos sustratos de forma individual, ya que la combinación equilibrada de ambos maximiza la tasa de eclosión en sistemas de producción masiva.

Palabras clave: Oviposición, sustratos orgánicos, tasa de eclosión, *Hermetia illucens*, incubación de huevos.

Abstract

The black soldier fly (*Hermetia illucens*, Diptera: Stratiomyidae) is a key species for waste valorization within circular economy frameworks. However, mass production efficiency is highly dependent on success during the incubation phase. This study evaluated the egg hatching rate using a Completely Randomized Design (CRD) with three treatments and three replicates per treatment. Experimental units consisted of 50 eggs placed in Petri dishes under controlled conditions (27-30 °C and 60-70% relative humidity). Three substrates were compared: fruit waste (T1), cow manure (T2), and a balanced mixture of both (T3). Results indicated significant differences ($p < 0.05$) between treatments; the mixture (T3) achieved the highest hatching percentage at 88.67%, followed by the fruit substrate (T1) at 76%. Pure manure (T2) exhibited a severe inhibitory effect with only 4% hatching. It is concluded that the incubation of the black soldier fly is significantly more efficient using mixtures of fruit waste and cattle manure than using these substrates individually, since the balanced combination of both maximizes the hatching rate in mass production systems.

Keywords: Oviposition, organic substrates, hatching rate, *Hermetia illucens*, egg incubation.

Introducción

El crecimiento constante de la población mundial ha intensificado la generación de residuos alimentarios (RA) (Sarker et al., 2024). De acuerdo con el Índice de Desperdicio de Alimentos del PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente), en 2019 se produjeron cerca de 931 millones de toneladas de RA (Filho et al., 2022). En respuesta a esta problemática, la ONU incluyó en los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030 la meta 12.3, que busca promover patrones sostenibles de consumo y producción, con el fin de reducir a la mitad los RA (Kameyama et al., 2026). Esta iniciativa está alineada con la necesidad de mitigar los efectos ambientales negativos derivados de la cadena alimentaria, la gestión de estos residuos varía entre países y existen diversas tecnologías de reciclaje, como la incineración, el compostaje y la digestión anaerobia, una gestión inadecuada puede acarrear serias consecuencias para el ambiente y la salud pública (Belperio et al., 2024).

En este contexto, una alternativa con gran potencial es la valorización de los RA mediante su uso como sustrato para la cría masiva de insectos (Siddiqui et al., 2024). Esta práctica innovadora, centrada en la bioconversión mediante insectos, se enmarca dentro del modelo de economía circular, entre las especies más prometedoras se encuentra la mosca soldado negra (*Hermetia illucens*), cuya fase larvaria (BSFL) presenta ventajas como alta tasa de crecimiento, bajo costo y corto ciclo de vida (Siva Raman et al., 2022). Estas larvas son capaces de degradar eficientemente residuos orgánicos de alto impacto ambiental, tales como estiércol animal, residuos agroindustriales y residuos sólidos urbanos (Grassauer et al., 2023).

El interés por la cría de *H. illucens* ha crecido notablemente debido a sus beneficios en la gestión de residuos (Jiang et al., 2024). La investigación se enfoca especialmente en la fase larval, la más eficaz para el reciclaje de residuos y la generación de biomasa utilizable como alimento, en Europa, existe una regulación estricta que prohíbe el uso de productos animales (salvo leche, huevos y sus derivados) y residuos municipales en la cría industrial de insectos (Meijer et al., 2025). Sin embargo, sí se permite el uso de vegetales y subproductos derivados, el reglamento 2021/1372 ha flexibilizado ciertas restricciones, permitiendo el uso de proteínas animales en la alimentación animal y fomentando el uso de harina de insectos como opción sostenible (Muurmann et al., 2024).

Las larvas de BSFL pueden generar una biomasa altamente nutritiva, con un contenido promedio de 22 a 45 % de proteína cruda, 26 a 40 % de grasa y diversos micronutrientes (Zulkifli et al., 2022). Estas composiciones varían según el sustrato y las condiciones de cría, y por ello se han desarrollado estudios que analizan los requerimientos nutricionales, en especial los de proteínas y lípidos, ya que estos influyen en su crecimiento y fisiología (Lu et al., 2022).

La capacidad de las larvas para transformar residuos en biomasa valiosa representa una oportunidad innovadora para la gestión de residuos sólidos urbanos (Liu et al., 2022). Aunque el control ambiental no es tan estricto en la etapa larval como en la adulta, sí es importante mantener ciertas condiciones microclimáticas, especialmente en las primeras fases del ciclo biológico (Yakti et al., 2023). La temperatura, en particular, es clave para asegurar una bioconversión eficaz, para entender mejor el desarrollo larval, se han aplicado modelos de suma térmica que estiman los grados-hora o grados-día requeridos para alcanzar determinadas etapas de crecimiento (Salam et al., 2022).

Hasta ahora, la mayoría de los estudios se han enfocado en sustratos vegetales únicos para la cría de insectos (Mancini & Antonioli, 2022). En Europa, el análisis de sustratos animales es escaso debido a las restricciones regulatorias (Vale-Hagan et al., 2023). En este estudio, se buscó comparar la efectividad de distintos sustratos en la incubación de huevos de la mosca soldado negra, determinando cuáles favorecen en mayor medida la tasa de eclosión y la supervivencia embrionaria.

Metodología

Localización y Condiciones Agroecológicas

El estudio se llevó a cabo en la granja "El Mochilo", perteneciente al Centro Agroforestal y Acuícola Arapaima del Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA), ubicada en el municipio de Puerto Asís, departamento del Putumayo, Colombia (coordenadas geográficas: 0°35'25.6"N 76°32'05.3"W). La zona se encuentra a una altitud de 256 msnm y

corresponde a la clasificación de zona de vida de bosque húmedo tropical, caracterizada por una temperatura promedio de 25.3 °C, una humedad relativa del 85% y una precipitación anual de 3355 mm.

Unidades Experimentales y Diseño de Tratamientos

La selección de los sustratos se realizó bajo criterios de disponibilidad regional, accesibilidad económica y composición nutricional potencial para el desarrollo larvario, siguiendo los lineamientos de Hosseindoust et al. (2024).

Se evaluaron tres tratamientos, con base en diferentes fuentes orgánicas. Las proporciones exactas de los componentes (en base húmeda) para cada tratamiento se estructuraron de la siguiente manera:

Tratamiento 1 (T1): 100% residuos de frutas, compuestos en partes iguales por piña, papaya y naranja (relación 1:1:1 en peso).

Tratamiento 2 (T2): 100% estiércol vacuno fresco.

Tratamiento 3 (T3): 100% de una mezcla equitativa de todos los sustratos evaluados, integrada por residuos de piña, papaya, naranja y estiércol vacuno (relación 1:1:1:1 en peso).

Cada unidad experimental consistió en una caja de Petri estéril debidamente rotulada, la cual contenía el tratamiento de sustrato correspondiente y un lote específico de huevos. Para cada tratamiento se establecieron tres repeticiones biológicas independientes, configurando un total de 9 unidades experimentales para todo el estudio.

Tamaño de Muestra y Condiciones de Incubación

Para determinar el tamaño de la muestra, se aislaron masas de huevos de *Hermetia illucens* y se distribuyeron uniformemente de la siguiente manera: cada unidad experimental (repeticición) contó con un número exacto de 50 huevos, evaluando así un total de 150 huevos por tratamiento y un tamaño de muestra global de 450 huevos para el experimento completo.

El proceso de incubación se realizó bajo condiciones controladas. Las cajas de Petri con las unidades experimentales estuvieron a una temperatura constante mantenida entre 27 y 30 °C y una humedad relativa controlada del 60–70%, durante un periodo estricto de cinco días.

Recolección de Datos y Tasa de Eclosión

La recolección de datos se llevó a cabo mediante un monitoreo e inspección visual directa cada 24 horas durante los cinco días que duró la fase de incubación. En cada revisión diaria, se contabilizó exhaustivamente el número de larvas emergidas (eclosionadas) en cada caja de Petri empleando un estereoscopio para asegurar la precisión del conteo. Las larvas contabilizadas fueron retiradas para evitar dobles conteos.

Con los datos acumulados al término del quinto día, se calculó la variable respuesta de la tasa de eclosión (TE) mediante la aplicación de la siguiente fórmula matemática:

$$Tasa\ de\ eclosión = \left(\frac{número\ de\ larvas\ eclosionadas}{número\ total\ de\ huevos} \right) \times 100$$

Análisis Estadístico

Los datos de la tasa de eclosión se sometieron a un Análisis de Varianza (ANOVA) bajo un Diseño Completamente Aleatorizado (DCA). Previo al ANOVA, se verificaron los supuestos estadísticos de normalidad mediante la prueba de Shapiro-Wilk y la homogeneidad de varianzas mediante la prueba de Levene. El procesamiento de los datos se ejecutó utilizando el software estadístico InfoStat (Di Rienzo et al., 2012). En los casos donde se detectaron diferencias significativas ($P < 0.05$), las medias de los tratamientos se compararon y separaron mediante la prueba de rangos múltiples de Duncan (Duncan, 1955).

Resultados

La eclosión es un indicador fundamental del desarrollo temprano y la viabilidad de la progenie, siendo crítico para una óptima producción masiva de *Hermetia illucens* (Bermúdez-Serrano et al., 2023). En este contexto, comprender cómo la calidad y composición del sustrato afectan la tasa y el tiempo de eclosión es vital para optimizar las condiciones de cultivo y garantizar un alto rendimiento biológico (Ahmad et al., 2022; Putra et al., 2022).

Los resultados determinaron que los sustratos con componentes vegetales combinados (T3 y T1) exhibieron las tasas de eclosión más altas, alcanzando valores de 88.67 % y 76.00 %, respectivamente. En contraste, el tratamiento basado en estiércol de vaca puro (T2) mostró una respuesta drásticamente inferior, con una tasa promedio de eclosión de tan solo 4.00 % (Tabla 1).

Tabla 1.

Tasa de eclosión de Hermetia illucens bajo diferentes tratamientos de sustratos orgánicos en Puerto Asís, Putumayo.

Tratamiento	Composición del Sustrato (100%)	Tasa de eclosión (%) ¹
T1	Naranja + Piña + Papaya	76.00 ± 2.31 ^b
T2	Estiércol vacuno	4.00 ± 1.15 ^c
T3	Estiércol vacuno+ Piña + Naranja + Papaya	88.67 ± 4.67 ^a

¹ Letras distintas en superíndice en la columna de Tasa de eclosión indican diferencias estadísticas significativas $P < 0.0001$. Valor F = 219.95; $P < 0.0001$; CV = 9.49%; EEA = 3.08%.

La comparación de medias discriminó estadísticamente a los tres tratamientos en grupos independientes. Estos resultados demuestran con claridad que el tratamiento T2 ejerció un efecto inhibitorio considerable sobre la viabilidad y desarrollo embrionario de los huevos de *H. illucens*, mientras que la combinación de sustratos orgánicos (T3) maximiza el éxito biológico en las etapas tempranas de la especie (figura 1).

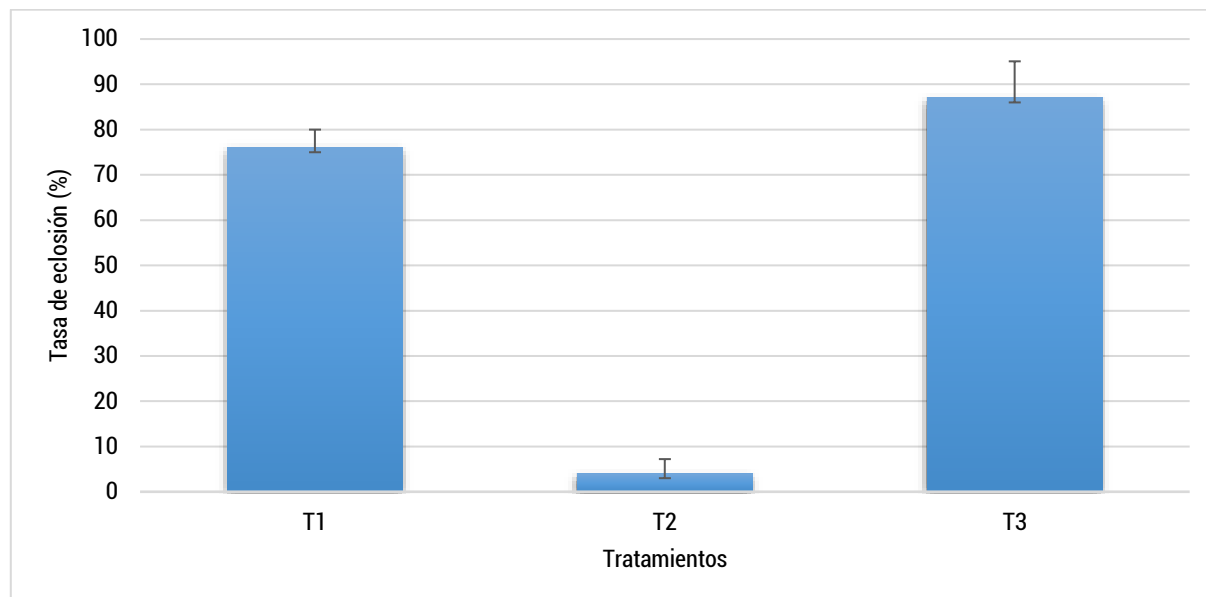


Figura 1. Eclosión de huevos de *Hermetia illucens* en tres tratamientos con componentes orgánicos.

Discusión

Los resultados obtenidos demuestran que la naturaleza y composición del sustrato ejercen un efecto directo sobre el éxito de la eclosión de *Hermetia illucens*. Al analizar el rendimiento biológico, el tratamiento con mezcla de residuos de frutas consolidó las respuestas de viabilidad embrionaria más favorables, lo cual contrasta drásticamente con la inhibición detectada en el tratamiento basado en estiércol de vaca puro. Aunque en la presente investigación se evaluó la tasa final de emergencia al concluir el periodo de incubación y no el tiempo dinámico del proceso, estos

patrones de respuesta en la viabilidad pueden correlacionarse conceptualmente con parámetros cronológicos reportados en la literatura; autores como Holeh et al. (2022) describieron tiempos medios de eclosión notablemente rápidos, de aproximadamente 3.1 días, en mezclas equilibradas de residuos orgánicos, en comparación con matrices más complejas y densas donde la eclosión puede prolongarse hasta cerca de los 5.6 días, según lo documentado por Konkol et al. (2022).

Está marcada divergencia temporal en los tratamientos, sumada a las diferencias cualitativas evidenciadas en este estudio, sugiere que la calidad del sustrato influye directamente en la embriogénesis, existiendo un microambiente donde la disponibilidad y equilibrio de nutrientes esenciales facilitan o truncan el desarrollo embrionario (Ha et al., 2024). Teóricamente, la combinación de residuos vegetales ricos en carbohidratos junto con subproductos de origen animal ofrece una matriz nutritiva más completa, favoreciendo una mejor estabilidad física y química dentro del entorno de incubación (Hariri et al., 2024; Oliveira et al., 2024).

Como hipótesis explicativa del estímulo embrionario registrado en los sustratos mixtos, y aun cuando en este experimento no se realizaron determinaciones analíticas ni caracterizaciones fisicoquímicas directas de las matrices alimenticias, la literatura científica postula que una posible explicación para la optimización de la viabilidad radica en la mayor biodisponibilidad potencial de micronutrientes como calcio, potasio y fósforo; estos elementos han sido catalogados como fundamentales para el desarrollo embrionario adecuado y la formación estructural de las larvas iniciales (Rasdi et al., 2022). Al respecto, un informe de Giraldo y Lozano (2022) destaca la superioridad en la bioconversión y el desarrollo en mezclas de desechos comparadas con sustratos individuales (Eke et al., 2023), lo cual vincula la heterogeneidad de nutrientes con mejores respuestas en producción y crecimiento. Adicionalmente, se plantea la hipótesis de que estos sustratos compuestos logran mantener, bajo las condiciones macroambientales del laboratorio, una retención de humedad óptima (Bekker et al., 2021; Bogdan et al., 2022; Lopes et al., 2025) junto con un pH relativamente neutro o ligeramente ácido; condiciones descritas por Khan et al. (2025) como altamente favorables para preservar la integridad del corion y la viabilidad general de los huevos de esta especie.

Por el contrario, los huevos expuestos al tratamiento de estiércol vacuno sufrieron una supresión severa en su éxito de eclosión, un fenómeno que coincide con las dinámicas de mortalidad y retraso embrionario descritas en sustratos limitantes por Nayak y Klüber (2025). Este comportamiento inhibitorio observado podría atribuirse a varias características físico-químicas y estructurales inherentes al material, las cuales plantean interrogantes valiosos para futuras líneas de investigación (Singh et al., 2022). En primer lugar, se teoriza que el estiércol sin procesar exhibe una alcalinidad elevada y, durante su descomposición orgánica en confinamiento, tiende a liberar compuestos microbianos volátiles y gases metabólicos, tales como aminos biógenos y azufre de hidrógeno (Ogello et al., 2025).

De acuerdo con lo reportado por Parra-Pacheco et al. (2025), estos metabolitos gaseosos poseen la capacidad de difundirse a través de las membranas del huevo, alterando el entorno bioquímico interno del embrión y bloqueando los mecanismos normales de la eclosión. Aunado a esto, el estiércol de vaca presenta una alta variabilidad en su contenido microbiano basal, con presencia inherente de microorganismos patógenos o bacterias competidoras y compuestos que potencialmente pueden degradar o colonizar negativamente la superficie del huevo, comprometiendo tanto la viabilidad del lote como el vigor larvario subsiguiente (Ramzy et al., 2022).

Las marcadas diferencias halladas en este trabajo se alinean con investigaciones previas que señalan cómo las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas generales del sustrato de soporte son decisivas para el éxito de la incubabilidad en dípteros (Schreven et al., 2022). La composición microbiana del entorno inmediato regula de forma crítica la viabilidad y el vigor inicial de las larvas emergidas (Rampure et al., 2025). A su vez, trabajos más recientes en la disciplina exhiben que la heterogeneidad del sustrato y su composición dual—es decir, el codiseño o mezcla dirigida de residuos vegetales y animales—pueden mejorar significativamente la incubabilidad (Laksanawimol et al., 2024), mitigando los efectos deletéreos de los componentes puros, optimizando el vigor larvario y asegura la viabilidad a largo plazo en colonias reproductivas de *Hermetia illucens* (Li et al., 2024).

Conclusión

La incubación de la mosca soldado negra es significativamente más eficiente utilizando mezclas de residuos de frutas y estiércol que empleando estos sustratos de forma individual. En este estudio, el estiércol de vacuno mostró la menor

tasa de eclosión, lo que evidencia la necesidad de combinarlo con residuos vegetales en proporciones equilibradas para maximizar el éxito del proceso en sistemas de producción masiva.

Referencias bibliográficas

- Ahmad, I. K., Basri, N. E. A., Jalil, N., Ain A., & Amrul, N. F. (2022). The efficiency of effective microorganism (EM) as catalyst in food waste composting using black soldier fly larvae. *E3S Web of Conferences*, 347, 04016. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202234704016>
- Bekker, N. S., Heidelberg, S., Vestergaard, S. Z., Nielsen, M. E., Riisgaard-Jensen, M., Zeuner, E. J., Bahrndorff, S., & Eriksen, N. T. (2021). Impact of substrate moisture content on growth and metabolic performance of black soldier fly larvae. *Waste Management*, 127, 73-79. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.04.028>
- Belperio, S., Cattaneo, A., Nannoni, E., Sardi, L., Martelli, G., Dabbou, S., & Meneguz, M. (2024). Assessing Substrate Utilization and Bioconversion Efficiency of Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) Larvae: Effect of Diet Composition on Growth and Development Temperature. *Animals*, 14(9), 9. <https://doi.org/10.3390/ani14091340>
- Bermúdez-Serrano, I. M., Sánchez-Velázquez, O. A., Bermúdez-Serrano, I. M., & Sánchez-Velázquez, O. A. (2023). Aprovechamiento integral de la Mosca Soldado Negra: Bioconversión, sostenibilidad y desafíos emergentes. *Scientia Agropecuaria*, 14(4), 571-590. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2023.047>
- Bogdan, G., Ioan, S. D., Mihael, Şuteu, Elena, M. L., Vasile, M. D., & Mihaela, B. A. (2022). Particularities of the *Hermetia illucens* (L.) (Diptera: Stratiomyidae) Ovipositing Behavior: Practical Applications. *Insects*, 13(7), 611. <https://doi.org/10.3390/insects13070611>
- Di Rienzo, J.A., Casanoves, F., Balzarini, M.G., Gonzalez, L., Tablada, M., & Robledo, C.W. (2012). *InfoStat versión 2012*. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. <http://www.infostat.com.ar>
- Duncan, D. B. (1955). "Multiple Range and Multiple F Tests." *Biometrics*, 11(1), 1-42. <http://dx.doi.org/10.2307/3001478>
- Eke, M., Tougeron, K., Hamidovic, A., Tinkeu, L. S. N., Hance, T., & Renoz, F. (2023). Deciphering the functional diversity of the gut microbiota of the black soldier fly (*Hermetia illucens*): Recent advances and future challenges. *Animal Microbiome*, 5(1), 40. <https://doi.org/10.1186/s42523-023-00261-9>
- Filho, W. L., Kovaleva, M., Tsani, S., & Setti, A. F. F. (2022). Food waste and food security: A relationship analysis. *Environmental Science & Policy*, 136, 510-522. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2022.07.018>
- Grassauer, F., Ferdous, J., & Pelletier, N. (2023). Manure Valorization Using Black Soldier Fly Larvae: A Review of Current Systems, Production Characteristics, Utilized Feed Substrates, and Bioconversion and Nitrogen Conversion Efficiencies. *Sustainability*, 15(16), 16. <https://doi.org/10.3390/su151612177>
- Ha, S. H., Hosseindoust, A., Mun, J., Park, S., Choi, S., Park, S., & Kim, J. (2024). Impact of Substrate Type and Developmental Stage on Nutrient Composition and Convergence Efficiency of *Hermetia illucens* Larvae. *Journal of Animal Science and Technology*, 67(6), 1273-1284. <https://doi.org/10.5187/jast.2024.e96>
- Hariri, M. N., Ishak, A. R., & Rashid, R. I. M. (2024). Effect of Food Waste on The Growth Performance, Waste Reduction Efficiency and Nutritional Composition of Black Soldier Fly (*Hermetia illucens* (L.), Diptera: Stratiomyidae) Larvae. *Malaysian Applied Biology*, 53(1), 1. <https://doi.org/10.55230/mabjournal.v53i1.2713>
- Holeh, G. M., Opiyo, M. A., Brown, C. L., Sumbule, E., Gatagwu, J., Oje, E. O., & Munyi, F. (2022). Effect of different waste substrates on the growth, development and proximate composition of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae. *Livestock Research for Rural Development*, 34(7), 1-11. <http://www.lrrd.org/lrrd34/7/3457hole.html>
- Hosseindoust, A., Ha, S. H., Mun, J. Y., & Kim, J. S. (2024). A metanalysis to evaluate the effects of substrate sources on the nutritional performance of black soldier fly larvae: Implications for sustainable poultry feed. *Poultry Science*, 103(2), 103299. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2023.103299>
- Jiang, S., Sun, J., Zhu, X., Shen, K., & Zhang, Z. (2024). Co-tratamiento de flujos de residuos agroalimentarios utilizando larvas de mosca soldado negra (*Hermetia illucens* L.): Una solución sostenible para la gestión de residuos rurales. *Journal of Environmental Management*, 370, 122373. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.122373>
- Khan, J. A., Guo, X., Pichner, R., Aganovic, K., Heinz, V., Hollah, C., Miert, S. V., Verheyen, G. R., Juadjur, A., & Rehman, K. U. (2025). Evaluation of nutritional and techno-functional aspects of black soldier fly high-protein extracts in different developmental stages. *animal*, 19(4), 101463. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2025.101463>

- Konkol, D., Popiela, E., Skrzypczak, D., Izydorczyk, G., Mikula, K., Moustakas, K., Opaliński, S., Korczyński, M., Witek-Krowiak, A., & Chojnacka, K. (2022). Recent innovations in various methods of harmful gases conversion and its mechanism in poultry farms. *Environmental Research*, 214, 113825. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.113825>
- Laksanawimol, P., Anukun, P., & Thancharoen, A. (2024). Use of different dry materials to control the moisture in a black soldier fly (*Hermetia illucens*) rearing substrate. *PeerJ*, 12, e17129. <https://doi.org/10.7717/peerj.17129>
- Li, C., Addeo, N. F., Rusch, T. W., Chappell, T. M., Tarone, A. M., & Tomberlin, J. K. (2024). Age and calorific restriction impact immature black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae) thermal tolerance and preference. *Journal of Insects as Food and Feed*, 11(2), 259-272. <https://doi.org/10.1163/23524588-00001026>
- Liu, T., Klammsteiner, T., Dregulo, A. M., Kumar, V., Zhou, Y., Zhang, Z., & Awasthi, M. K. (2022). Black soldier fly larvae for organic manure recycling and its potential for a circular bioeconomy: A review. *Science of The Total Environment*, 833, 155122. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155122>
- Lopes, I. G., Wiklicky, V., & Lalander, C. (2025). Bioconversión de residuos acuícolas mezclados con subproductos vegetales utilizando larvas de *Hermetia illucens*: Parámetros del proceso y calidad larvaria. *Aquaculture Reports*, 43, 102961. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2025.102961>
- Lu, S., Taethaisong, N., Meethip, W., Surakhunthod, J., Sinpru, B., Sroichak, T., Archa, P., Thongpea, S., Paengkoum, S., Purba, R. A. P., & Paengkoum, P. (2022). Nutritional Composition of Black Soldier Fly Larvae (*Hermetia illucens* L.) and Its Potential Uses as Alternative Protein Sources in Animal Diets: A Review. *Insects*, 13(9), 9. <https://doi.org/10.3390/insects13090831>
- Kameyama, E., O'Hara, S., & Stuiver, M. (2026). Food loss and waste: A review of United Nations Voluntary National and Local Reviews. *Sustainability*, 18(1), 1–20. <https://doi.org/10.3390/su18010000>
- Mancini, M. C., & Antonioli, F. (2022). Italian consumers standing at the crossroads of alternative protein sources: Cultivated meat, insect-based and novel plant-based foods. *Meat Science*, 193, 108942. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2022.108942>
- Meijer, N., Safitri, R. A., Tao, W., & Hoek-Van den Hil, E. F. (2025). Review: European Union legislation and regulatory framework for edible insect production – Safety issues. *Animal*, 19(3) 101468. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2025.101468>
- Muurmann, A. T., Banovic, M., Gilbert, M. T. P., Sogari, G., Limborg, M. T., Sicheritz-Pontén, T., & Bahrndorff, S. (2024). Framework for valorizing waste- and by-products through insects and their microbiomes for food and feed. *Food Research International*, 187, 114358. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2024.114358>
- Nayak, A., & Klüber, P. (2025). The hidden drivers: Unraveling the impact of density, moisture, and scale on *Hermetia illucens* rearing. *PLOS ONE*, 20(1), e0317049. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0317049>
- Ogello, E. O., Outa, N. O., Muthoka, M., Juma, F., & Hoinkis, J. (2025). Optimizing Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) production: Effects of substrate variation on biomass, nutritional quality, hatchability, fecundity, and frass quality. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 9. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2025.1621034>
- Oliveira, C. G. de, Freitas, D. de A., Ribeiro, P. A. P., Teixeira, R. R. C., Silva, R. F. da, Gamarano, P. G., Araújo, R. D. de, Prado, V. G. L., Guilherme, H. de O., Paulino, R. R., & Costa, L. S. (2024). Impact of Replacing Fish Meal With Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) Meal on Diet Acceptability in Juvenile Nile Tilapia: Palatability and Nutritional and Health Considerations for Dietary Preference. *Aquaculture Research*, 2024(1), 3409955. <https://doi.org/10.1155/2024/3409955>
- Parra-Pacheco, B., Aguirre-Becerra, H., Feregrino-Pérez, A. A., Chandrakasan, G., González-Lara, H., & García-Trejo, J. F. (2025). Use of Black Soldier Fly Larvae for Bioconversion of Tomato Crop Residues. *Sustainability*, 17(8), 3578. <https://doi.org/10.3390/su17083578>
- Putra, R. E., Aprilia, N. F., & Kinasih, I. (2022). Effect of Substrate and Strain on the Mortality Rate of the Early Larval Stage of Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*). *Science Letters*, 16(2), 96-106. DOI: 10.24191/sl.v16i2.18436
- Rampure, S. M., Velayudhannair, K., & Radhakrishnan, D. K. (2025). Influence of fruit and vegetable waste substrates on the nutritional profile of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae and prepupa. *International Journal of Tropical Insect Science*, 45(1), 433-445. <https://doi.org/10.1007/s42690-025-01444-4>
- Ramzy, R. R., El-Dakar, M. A., Wang, D., & Ji, H. (2022). Conversion Efficiency of Lignin-Rich Olive Pomace to Produce Nutrient-Rich Insect Biomass by Black Soldier Fly Larvae, *Hermetia illucens*. *Waste and Biomass Valorization*, 13(2), 893-903. <https://doi.org/10.1007/s12649-021-01546-3>
- Rasdi, F. L. M., Ishak, A. R., Hua, P. W., Shaifuddin, S. N. M., Dom, N. C., Shafie, F. A., Abdullah, A. M., Kari, Z. A., & Atan, E. H. (2022). Growth and Development of Black Soldier Fly (*Hermetia illucens* (L.)), Diptera:

- Stratiomyidae) Larvae Grown on Carbohydrate, Protein, and Fruit-Based Waste Substrates. *Malaysian Applied Biology*, 51(6), 6. <https://doi.org/10.55230/mabjournal.v51i6.2386>
- Salam, M., Shahzadi, A., Zheng, H., Alam, F., Nabi, G., Dezhi, S., Ullah, W., Ammara, S., Ali, N., & Bilal, M. (2022). Effect of different environmental conditions on the growth and development of Black Soldier Fly Larvae and its utilization in solid waste management and pollution mitigation. *Environmental Technology & Innovation*, 28, 102649. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2022.102649>
- Sarker, A., Ahmmed, R., M. Ahsan, S., Rana, J., Kumar Ghosh, M., & Nandi, R. (2024). A comprehensive review of food waste valorization for the sustainable management of global food waste. *Sustainable Food Technology*, 2(1), 48-69. <https://doi.org/10.1039/D3FB00156C>
- Schreven, S. J., de Vries, H., Hermes, G. D., Zeni, G., Smidt, H., Dicke, M., & van Loon, J. J. (2022). Black Soldier Fly Larvae Influence Internal and Substrate Bacterial Community Composition Depending on Substrate Type and Larval Density. *Applied and Environmental Microbiology*, 88(10), e00084-22. <https://doi.org/10.1128/aem.00084-22>
- Siddiqui, S. A., Harahap, I. A., Osei-Owusu, J., Saikia, T., Wu, Y. S., Fernando, I., Perestrelo, R., & Câmara, J. S. (2024). Bioconversion of organic waste by insects – A comprehensive review. *Process Safety and Environmental Protection*, 187, 1-25. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2024.04.122>
- Singh, A., Marathe, D., & Kumari, K. (2022). Black Soldier Fly *Hermetia illucens* (L.): Ideal environmental conditions and rearing strategies. *Indian Journal of Entomology*, 1-6. <https://doi.org/10.55446/IJE.2022.164>
- Siva Raman, S., Stringer, L. C., Bruce, N. C., & Chong, C. S. (2022). Opportunities, challenges and solutions for black soldier fly larvae-based animal feed production. *Journal of Cleaner Production*, 373, 133802. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133802>
- Vale-Hagan, W., Singhal, S., Grigoletto, I., Totaro-Fila, C., Theodoridou, K., & Koidis, A. (2023). Edible insects in mixed-sourced protein meals for animal feed and food: An EU focus. *Food and Humanity*, 1, 1180-1187. <https://doi.org/10.1016/j.foohum.2023.09.011>
- Yakti, W., Müller, M., Klost, M., Mewis, I., Dannehl, D., & Ulrichs, C. (2023). Physical Properties of Substrates as a Driver for *Hermetia illucens* (L.) (Diptera: Stratiomyidae) Larvae Growth. *Insects*, 14(3), 3. <https://doi.org/10.3390/insects14030266>
- Zulkifli, N. F. N. M., Seok-Kian, A. Y., Seng, L. L., Mustafa, S., Kim, Y.-S., & Shapawi, R. (2022). Nutritional value of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae processed by different methods. *PLOS ONE*, 17(2), e0263924. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0263924>