

Evaluation of the use of *Hermetia illucens* in organic waste composting: a systematic review

Abstract– Population growth has increased the generation of organic waste. Composting is an effective strategy to recycle this waste and improve soil quality. In this context, the use of *Hermetia illucens* in composting has attracted great interest due to its efficiency in reducing organic waste. Focused on Sustainable Development Goal 13 (Climate Action), this review article aimed to gather information on the efficiency of *Hermetia illucens* in composting. For the systematic review, we used research selected according to PRISMA methodology from Scopus and Web of Science databases, published between 2020 and 2024. The results showed that *Hermetia illucens* larvae achieved biodegradation of organic waste in a period of 12 to 14 days, as opposed to traditional composting (6-7 weeks). The compost obtained had high levels of nutrients such as nitrogen, phosphorus, potassium, zinc, manganese and boron. In conclusion, the use of *Hermetia illucens* is highly efficient in the rapid decomposition of organic waste and produces nutritious compost, presenting itself as a sustainable solution for waste management.

Keywords– *Hermetia illucens*, organic waste, composting.

Evaluación del uso de *Hermetia illucens* en el compostaje de residuos orgánicos: una revisión sistemática

Yahir Yosue Bustinza Castillo^{ORCID}, Angel Michel Gonzales Poma^{ORCID}, Carlos Alberto Castañeda Olivera, DSc.^{ORCID}
Universidad César Vallejo, Lima, Perú
yahirbc4@gmail.com, angelgonzalespoma@gmail.com, y ccastanedao@ucv.edu.pe@gmail.com

Resumen– *El crecimiento poblacional ha incrementado la generación de residuos orgánicos. El compostaje es una estrategia eficaz para reciclar estos residuos y mejorar la calidad del suelo. En ese contexto, el uso de Hermetia illucens en el compostaje ha despertado gran interés debido a su eficiencia en la reducción de residuos orgánicos. Enfocado en el Objetivo de Desarrollo Sostenible 13 (Acción por el Clima), este artículo de revisión tuvo como objetivo recopilar información sobre la eficiencia de Hermetia illucens en el compostaje. Para la revisión sistemática, se utilizaron investigaciones seleccionados conforme a la metodología PRISMA a partir de las bases de datos Scopus y Web of Science, publicados entre 2020 y 2024. Los resultados mostraron que las larvas de Hermetia illucens lograron la biodegradación de residuos orgánicos en un periodo de 12 a 14 días, a diferencia del compostaje tradicional (6-7 semanas). El compost obtenido tuvo niveles elevados de nutrientes como nitrógeno, fósforo, potasio, zinc, manganeso y boro. En conclusión, el uso de Hermetia illucens es altamente eficiente en la descomposición rápida de residuos orgánicos y producen compost nutritivo, presentándose como una solución sostenible para la gestión de residuos.*

Palabras clave– *Hermetia illucens, residuos orgánicos, compostaje.*

Abstract– *Population growth has increased the generation of organic waste. Composting is an effective strategy to recycle this waste and improve soil quality. In this context, the use of Hermetia illucens in composting has attracted great interest due to its efficiency in reducing organic waste. Focused on Sustainable Development Goal 13 (Climate Action), this review article aimed to gather information on the efficiency of Hermetia illucens in composting. For the systematic review, we used research selected according to PRISMA methodology from Scopus and Web of Science databases, published between 2020 and 2024. The results showed that Hermetia illucens larvae achieved biodegradation of organic waste in a period of 12 to 14 days, as opposed to traditional composting (6-7 weeks). The compost obtained had high levels of nutrients such as nitrogen, phosphorus, potassium, zinc, manganese and boron. In conclusion, the use of Hermetia illucens is highly efficient in the rapid decomposition of organic waste and produces nutritious compost, presenting itself as a sustainable solution for waste management.*

Keywords– *Hermetia illucens, organic waste, composting.*

I. INTRODUCCIÓN

La generación de residuos orgánicos aumenta de manera directamente proporcional al crecimiento demográfico

mundial. Por ende, se estima que el promedio mundial de residuos orgánicos es de 121 kg por persona al año [1].

Los residuos orgánicos comprenden desde alimentos, residuos agrícolas, desechos forestales, etc [2]. En este sentido, estos residuos generan graves problemas a la salud humana debido a la proliferación de microorganismos patógenos, el aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) como CO₂, N₂O y CH₄, la infiltración de lixiviados a las aguas subterráneas y la pérdida de calidad de vida debido al aumento de los olores y el impacto visual [3].

La alternativa más efectiva de reciclar residuos orgánicos es la elaboración de compost [1]. El compostaje es considerado la tecnología más económica y eficaz para el tratamiento de residuos orgánicos [4], esta alternativa surgió como una estrategia sostenible para mejorar la calidad de los suelos [5].

Asimismo, existen métodos innovadores para reducir los residuos depositados en los vertederos, como el compostaje con larvas de mosca soldado negro [6]. Estas larvas son conocidas por ser excelentes compostadores, debido a que son utilizadas en todo el mundo para gestionar residuos orgánicos a un bajo costo [7]. La eficacia de las larvas de *Hermetia illucens* descomponen materia orgánica en un corto periodo de tiempo a comparación con otros procesos como el compostaje tradicional [8].

En consecuencia, una de las alternativas que podría utilizarse en los residuos orgánicos es la bioconversión con larvas de mosca soldado negro, la cual ofrece varios beneficios [9]. El compost producido por *Hermetia illucens* es rico en nutrientes, mejorando la fertilidad y capacidad de retención de agua del suelo [10]. Además, al compostar con estas larvas, se evita que los residuos generen metano en los vertederos, reduciendo las emisiones de gases de efecto invernadero [11].

El presente artículo de revisión se encuentra orientado bajo el Objetivo 13 de Desarrollo Sostenible de acción por el clima, que busca adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos, con el fin de fortalecer la resiliencia y la capacidad de adaptación a los riesgos relacionados con el clima y los desastres naturales en todos los países.

Teniendo en cuenta la realidad problemática, en esta investigación se planteó la siguiente pregunta: ¿Qué tan

eficiente es la *Hermetia illucens* en el compostaje de residuos orgánicos?

El trabajo de revisión se centró en recopilar y analizar la información disponible sobre el uso de *Hermetia illucens* para la elaboración de compost. El estudio presentará una síntesis del conocimiento existente sobre las larvas de *Hermetia illucens* y su eficacia en el compostaje de residuos orgánicos. En este sentido, esta investigación se justifica en 3 enfoques. En el ámbito ambiental, el uso de la *Hermetia illucens* ayuda a reducir la generación y acumulación de residuos orgánicos. Asimismo, las larvas crean un producto económicamente viable que mejora la calidad del suelo en los cultivos. Socialmente, favorece a la gestión adecuado de los residuos aprovechando sus características para producir un resultado sostenible.

Por ende, este artículo de revisión sistemática tuvo como objetivo recopilar información sobre la eficiencia de *Hermetia illucens* en el compostaje de residuos orgánicos. Asimismo, se determinó los tiempos en descomposición de los residuos orgánicos, y también se analizó la calidad del compost obtenido mediante las larvas de *Hermetia Illucens*.

II. METODOLOGÍA

A. Tipo de Estudio

Esta investigación tuvo un enfoque cualitativo y fue de tipo aplicada, ya que se enfocó en detectar necesidades, problemas y oportunidades dentro del contexto específico, utilizando conocimientos científicos para proporcionar soluciones mediante el método científico [12]. Su diseño fue no experimental de revisión documental porque está enfocada en revisar la literatura para sintetizar y analizar el tema en discusión [13].

B. Fuentes de Información

Para la revisión sistemática, se seleccionó artículos científicos de las bases de datos como Scopus y Web of Science, las cuales proporcionaron una amplia gama de publicaciones académicas y científicas. Este enfoque garantizó la recopilación exhaustiva de información relevante para el estudio.

C. Estrategia de Búsqueda

Para la búsqueda de la información en las bases de datos se usaron palabras clave como “*Hermetia illucens*”, “*Hermetia illucens larvae*”, “organic waste”, “black soldier fly” y “compost”, empleando operadores booleanos “AND”, “OR” en inglés. Se estableció la siguiente cadena de búsqueda: (“*Hermetia illucens*” OR “*Hermetia illucens larvae*” OR “black soldier fly”) AND (compost*) AND (“organic waste”) AND NOT (manure). Además, se limitó la búsqueda de estudios publicados entre enero de 2020 hasta agosto de 2024 para asegurar la relevancia temporal de los resultados obtenidos.

D. Selección de Documentos

Para la selección de la información se siguió la metodología PRISMA, que ayuda a los autores en la

documentación transparente del propósito de la revisión sistemática y los hallazgos obtenidos [14]. Se consideraron los siguientes criterios:

1. Se incluyeron estudios que evaluaron la eficiencia de *Hermetia illucens* en el proceso de compostaje.
2. Se incluyeron estudios que investigaron los tiempos de descomposición de los residuos orgánicos utilizando *Hermetia illucens* como agente compostador.
3. Se incluyeron estudios que analizaron los nutrientes presentes en el compost obtenido mediante las larvas de *Hermetia illucens*.
4. Se excluyeron los estudios que no abordaban directamente el uso de *Hermetia illucens* en el compostaje de residuos orgánicos.

Los artículos preseleccionados fueron sometidos a una lectura completa para evaluar su pertinencia y metodología. Durante este proceso, se aplicaron criterios adicionales de exclusión, duplicados, estudios que no estaban escritos en el idioma inglés, y aquellos que no abordaban directamente el tema de interés. Finalmente, se incluyeron aquellos estudios que cumplieron con todos los criterios de inclusión y proporcionaron información relevante para la presente revisión sistemática.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. Búsqueda de información

En la Figura 1 se muestra la superposición de artículos y reviews entre las bases de datos Scopus y Web of Science.

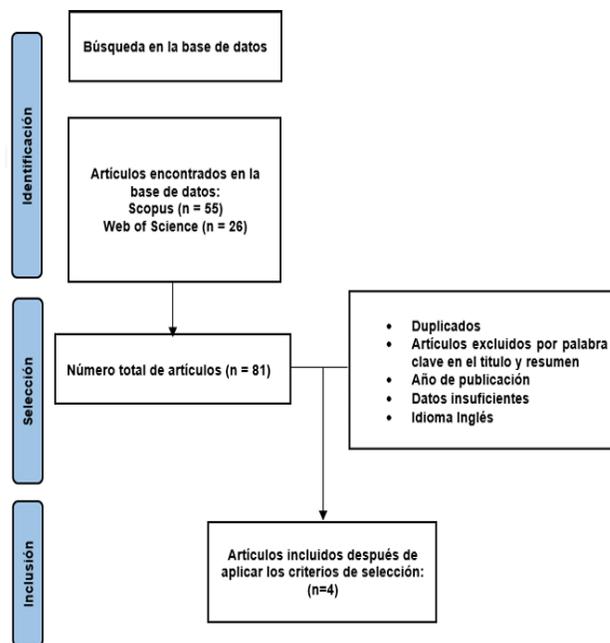


Fig. 1. Diagrama del proceso de selección de las investigaciones a partir de las bases estudiadas

De acuerdo con la Figura 1, se seleccionaron 45 artículos desarrollados. Estos artículos se encuentran listados en la Tabla 1 que cumplen con los criterios de inclusión en el tema 1.

Tabla 1. Investigaciones científicas seleccionadas a partir de las bases de datos

| No. | Base de datos | | Tipo de material orgánico | Autor |
|-----|---------------|----------------|---|-------|
| | Scopus | Web of Science | | |
| 1 | x | | Residuos de alimentos | [15] |
| 2 | x | | Alimentos para pollos, salvado de arroz y desechos de jardín | [6] |
| 3 | x | | Residuos de cultivos | [16] |
| 4 | x | | Residuos de alimentos | [17] |
| 5 | x | | Bagazo de cerveza | [18] |
| 6 | x | | Residuos orgánicos | [19] |
| 7 | x | | - | [20] |
| 8 | | x | Trigo, desechos de alimentos, lodos deshidratados (biosólidos), (biosólidos + trigo) y (biosólidos + desechos de alimentos) | [21] |
| 9 | x | | Residuos orgánicos y okara | [22] |
| 10 | x | | Residuos orgánicos | [23] |
| 11 | x | | Residuos orgánicos | [24] |
| 12 | x | | Residuo orgánico | [25] |
| 13 | | x | Residuos orgánicos | [26] |
| 14 | x | | Residuos orgánicos | [27] |
| 15 | x | | Cáscara de plátano, naranja y desechos de pescado | [28] |
| 16 | x | | Cáscaras de plátano, semillas de mango y cáscaras de café | [29] |
| 17 | x | | Residuos orgánicos domésticos | [30] |
| 18 | x | | Desechos orgánicos | [31] |
| 19 | x | | Desechos orgánicos | [32] |
| 20 | x | | Carne de pollo, pescado y paja de arroz | [33] |
| 21 | x | | Lodos de depuradora | [34] |
| 22 | x | | Salvado de trigo | [35] |
| 23 | x | | Desechos orgánicos | [36] |
| 24 | x | | Desechos orgánicos | [37] |
| 25 | x | | Desperdicios de alimento | [38] |
| 26 | x | | Residuos de comida | [1] |
| 27 | | x | Repollo, Coliflor, Zanahoria, Tomate, Papa, Pepino, Maíz | [39] |
| 28 | x | | Desechos orgánicos | [40] |
| 29 | x | | Desechos orgánicos | [41] |
| 30 | x | | Residuos orgánicos | [42] |
| 31 | x | | Paja de trigo | [43] |
| 32 | x | | Residuos domésticos | [44] |
| 33 | x | | Desechos de frutas y vegetales | [45] |
| 34 | x | | Residuos domésticos y residuos de frutas | [46] |
| 35 | x | | Residuos orgánicos | [47] |
| 36 | x | | Desperdicios de cocina, pescado de lacha, residuos de restaurantes | [48] |
| 37 | x | | - | [49] |
| 38 | x | | Residuos orgánicos y okara | [50] |
| 39 | | x | Frutas y verduras | [51] |
| 40 | x | | Lodos municipales y desechos de café | [52] |
| 41 | x | | Desperdicios de alimento | [53] |
| 42 | x | | Materia vegetal | [54] |
| 43 | x | | Residuos de restaurante, residuo de mercados y pan | [55] |
| 44 | x | | Residuos orgánicos | [56] |
| 45 | x | | Residuos orgánicos | [57] |

B. Eficiencia de *Hermetia illucens* en el compostaje de residuos orgánicos

En la Tabla 2 se presentan los veintinueve artículos utilizados para obtener información sobre la eficiencia de *Hermetia illucens* en el compostaje de residuos orgánicos.

La eficiencia de *Hermetia illucens* en el compostaje de residuos orgánicos ha sido ampliamente estudiada, revelando su capacidad para descomponer materiales orgánicos rápidamente y producir compost de alta calidad. Según Ref.

[48], indica que el uso de las larvas de *Hermetia illucens* reduce la materia orgánica y minimiza la biolixiviación de los contaminantes provocados por los residuos. Por otra parte, Ref. [1] resalta el potencial de las larvas para la disminución de los compuestos volátiles e incrementar la alcalinidad del compost producido. No obstante, aún se requiere ajustes adicionales debido a la persistencia de olores desagradables en el proceso de compostaje. Por otro lado, Ref. [37] detalla que, para mejorar la eficiencia de las larvas es recomendable realizar una ingesta rica en carbohidratos y baja en nitrógeno,

particularmente cuando se integra residuos de acuicultura. De esta manera Ref. [23], resaltan sobre la importancia del control adecuado de la temperatura y oxígeno, dado que son factores esenciales para la supervivencia de las larvas. Además, Ref. [39] destacan la eficiencia de las larvas de *Hermetia illucens* en la reducción de materia orgánica (frutas) y en el

reforzamiento de la calidad del suelo, lo que propone la aplicación directa del compost producido en los cultivos. Sin embargo, estos estudios también indican que los factores ambientales y las estrategias de alimentación influyen en la eficiencia de las larvas de *Hermetia illucens* en el proceso de compostaje.

Tabla 2. Eficiencia de las larvas *Hermetia illucens* en el compostaje

| No. | Resultados | Autores |
|-----|---|---------|
| 1 | Las larvas de <i>Hermetia illucens</i> presentan una gran eficacia en la reducción de emisiones de compuestos orgánicos volátiles (COV) durante el compostaje, estas larvas no eliminan por completo los olores de los desechos orgánicos. Muestran eficacia en su reducción cuando los desechos están en una etapa temprana de descomposición. Además, la digestión de las larvas hace que el pH sea básico (pH 8,0 - 9,0). | [1] |
| 2 | La eficiencia de las larvas de <i>Hermetia illucens</i> en el compostaje de residuos orgánicos es destacable. Sin embargo, para que estas larvas sean más eficientes, los residuos orgánicos deben ser ricos en carbohidratos y bajos en nitrógeno. Por ello, la adición de pequeñas cantidades de residuos de acuicultura al compostaje es muy beneficiosa. Esto favorece a las larvas en su crecimiento y también la acumulación de proteínas. | [37] |
| 3 | Las larvas de <i>Hermetia illucens</i> son eficientes en la reducción de desechos (residuos orgánicos) y tienen la capacidad de degradar diferentes residuos orgánicos en el compostaje. Sin embargo, es necesario controlar la temperatura y oxígeno para garantizar la supervivencia de las larvas durante el compostaje. | [23] |
| 4 | La estrategia de alimentación utilizada para la mejora de la eficiencia de las larvas <i>Hermetia illucens</i> en el compostaje, fue con pulpa de soja y desechos de frutas las cuales mejoran el equilibrio nutricional a comparación de otros residuos. Estos residuos orgánicos mejoraron el desarrollo de las larvas debido a que son ricos en proteínas y grasas, estas son cruciales en su etapa temprana para su desarrollo. Estas estrategias son efectivas, ya que reducen el tiempo y recursos para el compostaje | [31] |
| 5 | El compost producido por las larvas de <i>Hermetia illucens</i> a partir de residuos orgánicos es superior al derivado de residuos de okara debido a las diferencias en la disponibilidad de nutrientes. El producto obtenido mediante las larvas también puede ser utilizados como fertilizante, mezclándose con biocarbon. | [50] |
| 6 | La utilización de las larvas de <i>Hermetia illucens</i> en el compostaje de residuos orgánicos es sumamente eficiente. Dado que las larvas degradan velozmente los residuos orgánicos sin dañar el ecosistema y la salud pública. Este proceso reduce la materia orgánica generando un producto que puede fortalecer las características del suelo. Asimismo, las larvas reducen la biolixiviación y mejorando el proceso de tratamiento de los residuos orgánicos. | [48] |
| 7 | Las larvas de Black Soldier Fly (BSF) mostraron un incremento notable en biomasa cuando se utilizaron desechos de frutas, reduciendo la cantidad de residuos orgánicos que terminan en los vertederos. Además, el compost resultante de este proceso mejora la calidad del suelo gracias a su alto contenido de nutrientes esenciales. | [39] |
| 8 | La materia seca del sustrato como su profundidad son factores críticos que influyen en la eficiencia del proceso de compostaje con <i>Hermetia illucens</i> . Un sustrato más seco permite aumentar la dosis de alimento para las larvas sin necesidad de incrementar la profundidad. Por el contrario, se ha observado que aumentar la profundidad del sustrato a más de 5 cm reduce la eficiencia en la conversión de residuos orgánicos y el Beneficio del Ciclo de Energía (BCE). | [25] |
| 9 | Los desechos de alimentos mezclados con un medio de control del contenido de humedad (MCCM) en el sistema de compostaje con BSFL demostraron ser eficaces para el tratamiento de residuos orgánicos. Además, los contenedores de BSFL cumplen con los requisitos del ciclo de vida de la mosca soldado negra, y los subproductos obtenidos pueden utilizarse como fertilizante para las plantas. | [6] |
| 10 | La bioconversión con larvas de <i>Hermetia illucens</i> redujo el carbono total, el nitrógeno total (excepto en desechos alimentarios) y la materia orgánica, mientras que aumentaron las concentraciones de fósforo total, amonio (NH ₄) y la conductividad eléctrica (CE). El producto obtenido mostro una menor fitotoxicidad, debido a sus bajos niveles de amonio y CE, haciéndolos adecuados como fertilizante. | [21] |
| 11 | Las larvas de la mosca soldado negra (BSF) demostraron ser efectivas en el tratamiento de desechos, con la capacidad de reducir su volumen entre un 50 % y un 80 %, al mismo tiempo que generaban emisiones de gases de efecto invernadero relativamente bajas. Además, se comprobó que la actividad de estas larvas ayuda a disminuir la presencia de patógenos como <i>Salmonella spp.</i> | [24] |
| 12 | La bioconversión mediante larvas de <i>Hermetia illucens</i> es un método eficaz para recuperar nutrientes de desechos orgánicos, transformando elementos como nitrógeno, fósforo, potasio y calcio en formas más solubles y absorbibles. Esta técnica redujo las emisiones de gases de efecto invernadero (disminución del 72,6-99,9% en CH ₄ y del 99,6-99,9% en N ₂ O). Además, disminuyó la concentración de metales pesados (cadmio, cobre, cromo, mercurio y plomo) en los desechos. | [26] |
| 13 | Las larvas de <i>Hermetia illucens</i> mostraron baja eficiencia de conversión de biomasa en mezclas sin desechos de pescado, al incluir pescado incrementó significativamente su rendimiento, alcanzando hasta un 25% de eficiencia con un 75% de desechos de pescado. Sin embargo, debido a la alta variabilidad en las mezclas con mayor proporción de pescado, se recomendó mantener su inclusión en un 25% para asegurar un compostaje más estable y confiable. | [28] |
| 14 | El uso de romero puede optimizar la eficiencia de <i>Hermetia illucens</i> (aceleró el tiempo de desarrollo a la fase adulta y mejoró significativamente su valor nutricional de la larva) en el proceso de compostaje de residuos orgánicos, potenciando tanto la conversión de biomasa como la calidad del producto final. | [56] |
| 15 | La eficiencia de <i>Hermetia illucens</i> en el compostaje de residuos orgánicos es afectada negativamente por la alta presencia de contenido de agua en los sustratos, aquellos con más del 90% de humedad no eran adecuados para el compostaje con larvas de <i>Hermetia illucens</i> . | [32] |
| 16 | Las larvas de <i>Hermetia illucens</i> son capaces de asimilar diversos desechos, transformándolos en biomasa rica en lípidos y proteínas. Se destaca la influencia del tipo de residuo en la velocidad de descomposición y la eficiencia de conversión de biomasa por parte de <i>Hermetia illucens</i> . | [34] |

| | | |
|----|---|------|
| 17 | Las larvas de mosca soldado negra mostraron un alto potencial para descomponer los desechos orgánicos y convertirlos en un material fértil, enriqueciendo el sustrato arenoso con materia orgánica y fósforo. | [40] |
| 18 | La bioconversión de residuos de soja (SD) mediante larvas de mosca soldado negra (BSFL), demostraron que la adición de un 8% de biochar de cáscara de soja (CS-BC) aceleró el crecimiento de las larvas y mejoró la tasa de reducción de los residuos. Además, la adición de CS-BC redujo la emisión de contaminantes, como NH ₃ y N ₂ O, y mejoró la retención de nitrógeno en los residuos. | [43] |
| 19 | Mediante un sistema de gestión de desechos orgánicos utilizando larvas de mosca soldado negro y monitoreado mediante la tecnología IoT (interconexión y transmisión de datos con otros dispositivos), se obtuvo un fertilizante con alto contenido de nitrógeno, fósforo, amoníaco y potasio. | [47] |
| 20 | El uso de un gabinete semiautomático aumenta la productividad de las larvas de mosca soldado negra al optimizar su crecimiento, además de ser un método eficiente para reducir los residuos orgánicos mediante el compostaje. | [49] |
| 21 | Las larvas de <i>Hermetia illucens</i> redujeron las emisiones de CO ₂ , CH ₄ y N ₂ O en un 62%, 87% y 95%, respectivamente. También, se identificó un aumento en la abundancia de bacterias que consumen CH ₄ y N ₂ O, como <i>Methanophaga</i> , <i>Marinobacter</i> y <i>Campylobacter</i> , favoreciendo la conversión de nitritos a amoníaco en lugar de gases de efecto invernadero. | [53] |

C. Velocidad de descomposición de residuos orgánicos mediante las larvas de *Hermetia illucens*

En la Tabla 3 se presentan los nueve artículos utilizados para obtener información sobre la velocidad de descomposición de residuos orgánicos mediante las larvas de *Hermetia illucens*.

Los estudios sobre la velocidad de descomposición de residuos orgánicos por larvas de *Hermetia illucens* evidencia su potencial para acelerar el proceso de compostaje. Ref. [29] demostraron que las larvas pueden biodegradar lignocelulosa en tan solo 14 días, este hallazgo es significativo dado que la lignocelulosa suele ser difícil de descomponer mediante métodos tradicionales. Por otro lado, Ref. [16] mostraron que la adición de biocarbón puede reducir el periodo de compostaje de residuos agrícolas de 76 a 45 días. Esto sugiere

que la combinación de *Hermetia illucens* con el biocarbón, puede mejorar aún más la eficiencia del compostaje. Por otra parte, Ref. [27] resaltaron la notable rapidez de las larvas, completando el compostaje en solo 12 días comparado con las 6-7 semanas que toma el método tradicional, destacando el potencial de *Hermetia illucens* para realizar el compostaje de manera más rápida y eficiente. Sin embargo, este método acelerado tiene puntos negativos sobre la calidad del compost producido. Además, Ref. [55] demostraron que la velocidad de descomposición es dependiente a la temperatura, logrando una reducción del 91,2% en la masa de residuos a baja temperatura.

Tabla 3. Velocidad de descomposición de residuos orgánicos mediante las larvas de *Hermetia illucens*

| No. | Resultados | Autores |
|-----|--|---------|
| 1 | Los resultados mostraron una velocidad de descomposición de la lignocelulosa por larvas de <i>Hermetia illucens</i> durante un período de 14 días, la tasa de biodegradación en el grupo de tratamiento con larvas superó significativamente la del compostaje natural. | [29] |
| 2 | La adición de larvas de la mosca soldado negra (<i>Hermetia illucens</i>) y biocarbón de cáscara de arroz a los residuos orgánicos redujo significativamente el periodo de compostaje de 76 a 45 días. Estos resultados demostraron que el compostaje con larvas de <i>Hermetia illucens</i> y biocarbón puede acelerar la descomposición de residuos orgánicos y mejorar la calidad del compost. | [16] |
| 3 | El compostaje tradicional fue comparado con el compostaje realizado por larvas de la mosca soldado negra, de los residuos orgánicos generados por la Cafetería FT UL. El tiempo de obtención del compostaje tradicional fue de 6 a 7 semanas, mientras que el compostaje de larvas de mosca soldado negra fue de 12 días. | [27] |
| 4 | Los diferentes regímenes de temperatura influyen en la relación de la velocidad de descomposición de residuos sólidos orgánicos mediante el uso de larvas de mosca soldado negro (BSF). La baja temperatura alcanzó la mayor reducción de residuos, con un porcentaje del 91,2%. Además, los residuos de restaurantes mostraron el mayor índice de reducción diaria (4,33%). Estos resultados resaltan la influencia significativa de la temperatura en la velocidad de descomposición de los residuos orgánicos por parte de las larvas de <i>Hermetia illucens</i> . | [55] |
| 5 | En el estudio se empleó el vermicompostaje con <i>E. eugeniae</i> , mezclado con los residuos de alimentos previamente compostados con larvas de BSF. Al ajustar la composición del sustrato y la cantidad de lombrices, se logra una alta tasa de degradación en corto tiempo y se produce una lombricomposta de calidad óptima. Las larvas de <i>Hermetia illucens</i> en combinación con el vermicompostaje son efectivas en la descomposición de residuos orgánicos. | [17] |
| 6 | El agente eficaz para el tratamiento de residuos orgánicos (BSFL) degradó una fracción compostable de residuos no segregados en su biomasa. Las prepupas de BSF redujeron entre 26% y 31% del total de residuos sólidos urbanos. Las larvas de <i>Hermetia illucens</i> tienen una alta capacidad para descomponer residuos orgánicos y convertirlos en biomasa, indican una velocidad efectiva al descomponer residuos orgánicos en 5 semanas. | [42] |
| 7 | El uso de las larvas de mosca soldado negra (BSF) combinado con el uso de Microorganismos Eficaces (EM) reducen el tiempo en el proceso de compostaje, ya que los hongos fermentadores y las bacterias de ácido láctico presentes en los EM aceleran la descomposición de la materia orgánica. Además, se comprobó que el compostaje con la combinación de larvas de la mosca soldado negra (BSF) y EM fue más rápido, completándose en 13 días, en contraste con los 28 días que requeriría el uso exclusivo de EM. | [15] |
| 8 | La combinación de BSFL y biocarbón de cáscara de arroz (RHB) aceleró el proceso de compostaje de 76 a 45 días. También mejoró la calidad del compost incrementando la presencia de fósforo y disminuyendo el contenido de nitrógeno. | [52] |
| 9 | El estudio demuestra que las larvas de BSFL mejoran significativamente la degradación de la lignocelulosa (un componente complejo y difícil de procesar). En el día 14 la cantidad total de lignocelulosa se redujo en un 26.5%, el resultado demuestra la eficiencia de las larvas BSFL como biorreactores. | [54] |

D. Calidad del compost obtenida mediante las larvas de Hermetia illucens

En la Tabla 4 se presentan los quince artículos utilizados para obtener información sobre la determinación de los nutrientes del compost utilizando larvas de *Hermetia illucens*.

Los estudios recientes han destacado el potencial del compost producido por las larvas de *Hermetia illucens* como una fuente rica en nutrientes esenciales. Según Ref. [44], destacan la presencia notable de micronutrientes (zinc, manganeso y boro) en el compost generado por las larvas de *Hermetia illucens*, estas son vitales para el desarrollo óptimo de las plantas. Este potencial de las larvas de convertir materia orgánica en compost de alta calidad mejora la presencia de nutrientes en el suelo que son esenciales para el desarrollo de las plantas. Por otro lado, Ref. [18] indicaron que ajustar la relación carbono/nitrógeno (C/N) con la incorporación de aserrín mejora los niveles de Nitrógeno, Fósforo y Potasio en

el compost generado. Por el contrario, otros estudios no mencionan este ajuste, dado que estos desacuerdos podrían ser causados por las condiciones particulares de cada ensayo, así como el tipo de residuo orgánico empleado o situaciones ambientales del compostaje. Por otra parte, Ref. [30] y [36], también confirman los altos contenidos de N, P y K en el compost, mostrándose como una alternativa factible de fertilizante natural. En términos de utilización, Ref. [22] indicaron que el compost generado de las larvas y aplicado en el cultivo de lechugas es altamente eficaz, es un resultado favorable para la aplicación agrícola. Asimismo, Ref. [20] demostraron que el compost generado por las larvas tiene altos niveles de Nitrógeno y Fósforo a comparación de otros fertilizantes.

Tabla 4. Determinación de nutrientes en compost utilizando larvas de *Hermetia illucens*

| No. | Resultados | Autores |
|-----|--|---------|
| 1 | El compostaje mediante el uso de larvas de <i>Hermetia illucens</i> presentan mayor cantidad de micronutrientes. Los resultados de la prueba mostraron que el micronutriente más abundante era el zinc (60,55 ppm), seguido por el manganeso (36,55 ppm) y el boro (12,07 ppm). | [44] |
| 2 | La adición de aserrín al sustrato, ajustando la relación C/N a 15, puede producir compost con nutrientes deseables para ser usado como fertilizante de alta calidad. El compost obtenido mediante las larvas de <i>Hermetia illucens</i> muestran niveles altos de nutrientes como el N, P y K. | [18] |
| 3 | El uso del 20% de excrementos termocompostados de larvas mosca soldado negra ayudó al crecimiento de germinaciones proporcionando condiciones fisicoquímicas óptimas para la creación de un sustrato beneficioso para el crecimiento vegetal. Además, el tratamiento redujo los niveles de fenoles, taninos y antioxidantes. | [57] |
| 4 | El fertilizante producido por larvas de <i>Hermetia illucens</i> , muestra una mayor cantidad de nitrógeno (N) en el compost. Además, se encontraron fósforo (P) y potasio (K) en cantidades ligeramente menores en el crecimiento larvario. | [30] |
| 5 | El fertilizante derivado de excrementos de la mosca soldado negra (BSF) mostró concentraciones significativamente más altas de nitrógeno (N) y potasio (K), con incrementos de entre 20-130% y 17-193%. La aplicación de este fertilizante no solo suprimió patógenos del suelo, también estimuló la actividad microbiana, redujo la acidez y salinidad, mejoró la mineralización del nitrógeno y aumentó la disponibilidad de nutrientes, favoreciendo un mejor rendimiento agronómico. | [20] |
| 6 | Los resultados mostraron un aumento considerablemente en el nitrógeno total en un 23,15 % en el compost obtenido mediante <i>Hermetia illucens</i> . También, hubo un aumento de fósforo y potasio. Esto proporciona una alternativa ambientalmente relevante y muy conveniente para reducir el desperdicio de alimentos. | [36] |
| 7 | La calidad del compost generado con larvas de <i>Hermetia illucens</i> varía según el tipo de harina de carne y hueso (MBM) utilizado. Las larvas alimentadas con MBM de pescado produjeron excrementos con mayor materia orgánica disuelta en comparación con MBM de pollo. La adición de paja afectó de manera diferente el proceso de humificación: en MBM de pollo, pequeñas cantidades de paja mejoraron la humificación, mientras que en MBM de pescado, fue mejor sin paja. | [33] |
| 8 | El cultivo de larvas de la mosca soldado negra (BSFL) demostró tener buenos resultados en el tratamiento de cianobacterias recuperadas. Sin embargo, la eficiencia en el consumo de estas cianobacterias y la calidad nutricional de las larvas estuvieron vinculadas al contenido de cianobacterias en el sustrato de alimentación. | [35] |
| 9 | Las larvas de BSF redujeron el peso fresco de la okara en un 85%. El excremento de estas larvas se mezcló con tierra en concentraciones del 10%, 20% y 30% (vol/vol) para cultivar lechuga. A una concentración del 10% y la baja proporción C/N proporcionó suficientes nutrientes para el crecimiento de la lechuga, necesitando fertilización adicional solo después del primer ciclo de crecimiento. Además, mostraron altos niveles de micronutrientes en el excremento favorecieron el crecimiento de las plantas. | [22] |
| 10 | El compostaje con larvas de la mosca soldado negra (BSFL) es una alternativa efectiva que mejora la germinación y el crecimiento de semillas de malezas. Sin embargo, la eficacia del proceso dependió de la especie de maleza y las características de sus semillas. Además, un exceso de humedad en el compostaje pudo haber afectado negativamente el desarrollo de las larvas. | [38] |
| 11 | El fertilizante de excremento de las larvas de mosca soldado negra (<i>Hermetia illucens</i>) destacó por sus altas concentraciones de N (20–130% más) y K (17–193% más) en comparación con otros fertilizantes. Su capacidad de suministro de N y K fue significativamente mayor al resto (19–78% y 16–190% más, respectivamente). | [19] |
| 12 | La aplicación de zoocompost derivado de las larvas de <i>Hermetia illucens</i> en muestras de suelo mostró mejoras significativas en comparación con el compost tradicional. En particular, la aplicación de 5 t/ha de zoocompost tuvo un efecto positivo en la composición del suelo, optimizando su estado estructural y favoreciendo su calidad. | [41] |
| 13 | Los resultados obtenidos mostraron la influencia de desechos de frutas (FW) y vegetales (VW) en el crecimiento de las larvas de BSF (BSFL) y la composición del compost producido, así como sus nutrientes. Las larvas alimentadas con VW crecieron más rápido (40 días) en comparación con las alimentadas con FW (46 días). Las larvas demostraron ser efectivas en la conversión de | [45] |

| | | |
|----|---|------|
| | residuos de frutas y verduras en compost de alta calidad, con contenido óptimo de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y azufre, estableciendo así una base para optimizar la cría de BSF y mejorar la calidad del compost producido. | |
| 14 | El compost producido a partir de desechos de larvas de la mosca soldado negra (BSF) aumentó significativamente el contenido de nutrientes clave, como vitamina A, vitamina C, clorofila y caroteno, en las plantas de espinaca, sin alterar los niveles de fibra, nitrato, nitrito u oxalato. Estos resultados indican que el compost derivado de larvas de BSF y desechos domésticos o de frutas es un fertilizante orgánico eficaz, capaz de mejorar el crecimiento, el rendimiento y el valor nutricional de las espinacas sin comprometer la seguridad alimentaria. | [46] |
| 15 | Las larvas de <i>Hermetia illucens</i> demostraron ser eficaces en el tratamiento de desechos de verduras y frutas para la obtención de zoocompost. Las plantas afectadas por nematodos (<i>Ditylenchus destructor</i> y saprobióticos como <i>Rhabditis</i> spp.), estimularon su crecimiento al tratarse con 6,5 g de zoocompost. | [51] |

IV. CONCLUSIONES

La aplicación de *Hermetia illucens* en el compostaje de residuos orgánicos demostró ser una estrategia efectiva y sostenible. Las larvas aceleran el proceso de descomposición y también mejoran la calidad del compost convirtiéndolo en una alternativa sostenible en la degradación de residuos orgánicos. Los resultados presentados destacan el potencial de *Hermetia illucens* en la gestión eficiente de los residuos orgánicos y al desarrollo de prácticas agrícolas más sostenibles.

La eficacia de las larvas de *Hermetia illucens* en el compostaje ha sido evidenciada debido a su notable capacidad para descomponer materiales orgánicos velozmente y producir compost de alta calidad. Se comprobó que las larvas son efectivas en reducir la masa orgánica, mejorar la calidad del compost y aportar a la sostenibilidad ambiental. Las estrategias de alimentación y la temperatura influyen significativamente en su eficiencia.

Se ha demostrado que las larvas de *Hermetia illucens* aceleran considerablemente el proceso de compostaje. Estos pueden biodegradar lignocelulosa alrededor de 14 días y reducir el tiempo de compostaje de residuos agrícolas de 76 a 45 días mediante la incorporación de biocarbón. Por otro lado, los métodos tradicionales de compostaje pueden tardar entre 6 a 7 semanas, mientras que el uso de larvas de *Hermetia illucens* producen compost en 12 días.

Las larvas de *Hermetia illucens* producen el compost de alta calidad, con una abundancia de macro y micronutrientes fundamentales como zinc, manganeso y boro. Además, la adición de aserrín en el compost mejora los niveles de nitrógeno, fósforo y potasio. También, se ha demostrado que el compost obtenido de las larvas *Hermetia illucens*, superan a otros fertilizantes en concentración de nutrientes.

REFERENCIAS

[1] MICHISHITA, R., SHIMODA, M., FURUKAWA, S. and UEHARA, T. Inoculation with black soldier fly larvae alters the microbiome and volatile organic compound profile of decomposing food waste. *Scientific Reports* [en línea]. 2023, vol. 13, no. 1, [consulta: 9 de mayo de 2024]. DOI 10.1038/s41598-023-31388-z.

[2] SHI, C., XIE, P., DING, Z., NIU, G., WEN, T., GU, W., LU, Y., WANG, F., LI, W., ZENG, J., SHEN, Q. and YUAN, J. Inhibition of pathogenic microorganisms in solid organic waste via black soldier fly larvae-mediated management. *Science of The Total Environment* [en línea]. 2024, vol. 913, [consulta: 10 de mayo de 2024]. ISSN 0048-9697. DOI 10.1016/j.scitotenv.2023.169767.

[3] PATÓN, D. and GARCÍA-GÓMEZ, J.C. Blaticomposting of Food Waste, Production Estimates, Chemical Composition and

CO₂ Emissions Savings: A Case Study. *Waste and Biomass Valorization* [en línea]. 2023, vol. 14, no. 11, [consulta: 10 de mayo de 2024].

[4] ZHONG, Y., YANG, W., ZHUO, Q., CAO, Z., CHEN, Q. and XIAO, L. Research Progress on Heavy Metal Passivators and Passivation Mechanisms of Organic Solid Waste Compost: A Review. *Fermentation* [en línea]. 2024, vol. 10, no. 2, [consulta: 11 de mayo de 2024]. DOI 10.3390/fermentation10020088.

[5] SUNG-INTHARA, T., JUNTAHUM, S., SENAWONG, K., KATEKAEW, S. and LALOON, K. Pelletization of soil amendment: Optimizing the production and quality of soil amendment pellets from compost with water and biochar mixtures and their impact on soil properties. *Environmental Technology and Innovation* [en línea]. 2024, vol. 33, [consulta: 10 de mayo de 2024]. DOI 10.1016/j.eti.2023.103505.

[6] AHMAD, I.K., PENG, N.T., AMRUL, N.F., BASRI, N.E.A., JALIL, N.A.A. and AZMAN, N.A. Potential Application of Black Soldier Fly Larva Bins in Treating Food Waste. *Insects* [en línea]. 2023, vol. 14, no. 5, [consulta: 10 de agosto de 2024]. DOI 10.3390/insects14050434.

[7] CHANG, C.T., NEGI, S., RANI, A., HU, A.H., PAN, S.Y. and KUMAR, S. Food waste and soybean curd residue composting by black soldier fly. *Environmental Research* [en línea]. 2022, vol. 214, [consulta: 11 de mayo de 2024]. ISSN 0013-9351. DOI 10.1016/j.envres.2022.113792.

[8] WU, N., YU, X., LIANG, J., MAO, Z., MA, Y., WANG, Z., WANG, X., LIU, Z., XU, X. A full recycling chain of food waste with straw addition mediated by black soldier fly larvae: Focus on fresh frass quality, secondary composting, and its fertilizing effect on maize. *Science of The Total Environment* [en línea]. 2023, vol.885, p.885 [consultado el 27 de mayo de 2024]. ISSN 0048-9697. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2023.163386.

[9] WU, N., MA, Y., YU, X., WANG, X., WANG, Q., LIU, X. y XU, X. Black soldier fly larvae bioconversion and subsequent composting promote larval frass quality during pig and chicken manure transformation process. *Bioresource Technology* [en línea]. 2024, vol. 402, [consulta: 16 de mayo de 2024]. ISSN 0960-8524. DOI 10.1016/J.BIORTECH.2024.130777.

[10] SCHMITT, E. and DE VRIES, W. Potential benefits of using *Hermetia illucens* frass as a soil amendment on food production and for environmental impact reduction. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry* [en línea]. 2020, vol. 25, [consulta: 9 de mayo de 2024]. ISSN 2452-2236. DOI 10.1016/J.COGSC.2020.03.005.

[11] LINDBERG, L., ERMOLAEV, E., VINNERÅS, B. and LALANDER, C. Process efficiency and greenhouse gas emissions in black soldier fly larvae composting of fruit and vegetable waste with and without pre-treatment. *Journal of Cleaner Production* [en línea]. 2022, vol. 338, [consulta: 11 de mayo de 2024]. ISSN 0959-6526. DOI 10.1016/j.jclepro.2022.130552.

[12] MALDONADO, C., MACHO, G. and CASALLAS, C.E. La investigación aplicada y el desarrollo experimental en el fortalecimiento de las competencias de la sociedad del siglo XXI. *Tecnura* [en línea], 2022. vol.27 [consulta: 05 de junio de 2024]. DOI 10.14483/22487638.19171.

[13] ARNAU SABATES, L. and SALA ROCA, J. La revisión de la literatura científica: Pautas, procedimientos y criterios de calidad. *Departament de Teories de l'Educació i Pedagogia Social. Universitat Autònoma de Barcelona*. 2020.

[14] PAGE, Matthew J. et al. Declaración PRISMA 2020: una guía actualizada para la publicación de revisiones sistemáticas. *Revista Española de*

- Cardiología [en línea]. 2021. Vol. 74, n.o 9, pp. 790-799 [consulta: 11 de mayo de 2024] DOI 10.1016/j.recesp.2021.06.016.
- [15] AHMAD, I.K., BASRI, N.E.A., JALIL, N.A.A. y AMRUL, N.F. The efficiency of effective microorganism (EM) as catalyst in food waste composting using black soldier fly larvae. E3S Web of Conferences [en línea]. 2022, vol. 347, [consulta: 23 de julio de 2024]. DOI 10.1051/e3sconf/202234704016.
- [16] AKUMAH, A.M., NARTEY, E.K., OFOSU-BUDU, G.K., EWUSIE, E.A., OFFEI, B.K. and ADAMTEY, N. Innovations in market crop waste compost production: Use of black soldier fly larvae and biochar. International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture [en línea]. 2021, vol. 10, no. 2, [consulta: 7 de mayo de 2024]. DOI 10.30486/ijrowa.2021.1899111.1071.
- [17] BAGASTYO, A.Y. and SOESANTO, K. Vermicomposting process of mixed food waste and black soldier fly larvae composting residue by using eudrilus eugeniae. Ecology, Environment and Conservation [en línea]. 2020, vol. 26, ISSN 0971-765X. [consulta: 7 de junio de 2024].
- [18] BEESIGAMUKAMA, D., MOCHOGE, B., KORIR, N.K., K.M. FIABOE, K., NAKIMBUGWE, D., KHAMIS, F.M., SUBRAMANIAN, S., WANGU, M.M., DUBOIS, T., EKESI, S., EKESI, S. y TANGA, C.M. Low-cost technology for recycling agro-industrial waste into nutrient-rich organic fertilizer using black soldier fly. Waste Management [en línea]. 2021, vol. 119, [consulta: 9 de mayo de 2024]. DOI 10.1016/j.wasman.2020.09.043.
- [19] BEESIGAMUKAMA, D., MOCHOGE, B., KORIR, N., MENALE, K., MURIITHI, B., KIDOIDO, M., KIRSCHT, H., DIIRO, G., GHEMOH, C.J., SEVGAN, S., EKESI, S. y TANGA, C.M. Economic and ecological values of frass fertiliser from black soldier fly agro-industrial waste processing. Journal of Insects as Food and Feed [en línea]. 2022, vol. 8, no. 3, [consulta: 9 de junio de 2024]. DOI 10.3920/jiff2021.0013.
- [20] BEESIGAMUKAMA, D., SUBRAMANIAN, S. y TANGA, C.M. Nutrient quality and maturity status of frass fertilizer from nine edible insects. Scientific Reports [en línea]. 2022, vol. 12, no. 1, [consulta: 13 de agosto de 2024]. DOI 10.1038/s41598-022-11336-z.
- [21] BOHM, K., HATLEY, G. A., ROBINSON, B.H Y GUTIÉRREZ-GINÉS, M.J. Analysis of Chemical and Phytotoxic Properties of Frass Derived from Black Soldier Fly-Based Bioconversion of Biosolids [en línea]. 2023, vol. 15, [consulta: 14 de agosto de 2024]. DOI 10.3390/su151511526.
- [22] CHIAM, Z., LEE, J.T.E., TAN, J.K.N., SONG, S., ARORA, S., TONG, Y.W. and TAN, H.T.W. Evaluating the potential of okara-derived black soldier fly larval frass as a soil amendment. Journal of Environmental Management [en línea]. 2021, vol. 286, [consulta: 9 de junio de 2024]. DOI 10.1016/j.jenvman.2021.112163.
- [23] DA SILVA, G.D.P. and HESSELBERG, T. A Review of the Use of Black Soldier Fly Larvae, *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae), to Compost Organic Waste in Tropical Regions. Neotropical Entomology [en línea]. 2020, vol. 49, n.o 2, pp. 151-162. [consulta: 7 de mayo de 2024]. DOI 10.1007/s13744-019-00719-z.
- [24] DDIBA, D., ANDERSSON, K., ROSEMARIN, A., SCHULTE-HERBRÜGGEN, H. y DICKIN, S. The circular economy potential of urban organic waste streams in low- and middle-income countries. Environment, Development and Sustainability [en línea]. 2022, vol. 24, no. 1, [consulta: 13 de agosto de 2024]. DOI 10.1007/s10668-021-01487-w.
- [25] GUIDINI LOPES, I., WIKLICKY, V., ERMOLAEV, E. and LALANDER, C. Dynamics of black soldier fly larvae composting – Impact of substrate properties and rearing conditions on process efficiency. Waste Management [en línea]. 2023, vol. 172, [consulta: 10 de junio de 2024]. DOI 10.1016/j.wasman.2023.08.045.
- [26] HUANG, S., ZHENG, X., LUO, L., NI, Y., YAO, L Y NI, W. Biostimulants in bioconversion compost of organic waste: A novel booster in sustainable agricultura [en línea]. 2021, vol. 319, [consulta: 14 de agosto de 2024]. DOI 10.1016/j.jclepro.2021.128704.
- [27] IBADURROHMAN, K., GUSNIANI, I., HARTONO, D.M. and SUWARTHA, N. The potential analysis of food waste management using bioconversion of the organic waste by the black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae in the cafeteria of the faculty of engineering, universitas Indonesia. Evergreen [en línea]. 2020, vol. 7, no. 1, [consulta: 9 de mayo de 2024]. DOI 10.5109/2740946.
- [28] ISIBIKA, A., VINNERÅS, B., KIBAZOHI, O., ZURBRÜGG, C. y LALANDER, C. Co-composting of banana peel and orange peel waste with fish waste to improve conversion by black soldier fly (*Hermetia illucens* (L.), Diptera: Stratiomyidae) larvae. Journal of Cleaner Production [en línea]. 2021, vol. 318, [consulta: 17 de agosto de 2024]. DOI 10.1016/j.jclepro.2021.128570.
- [29] ISIBIKA, A., SIMHA, P., VINNERÅS, B., ZURBRÜGG, C., KIBAZOHI, O. and LALANDER, C. Food industry waste - An opportunity for black soldier fly larvae protein production in Tanzania. Science of the Total Environment [en línea]. 2023, vol. 858, [consulta: 11 de mayo de 2024]. DOI 10.1016/j.scitotenv.2022.159985.
- [30] KAWASAKI, K., KAWASAKI, T., HIRAYASU, H., MATSUMOTO, Y. and FUJITANI, Y. Evaluation of fertilizer value of residues obtained after processing household organic waste with black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*). Sustainability (Switzerland) [en línea]. 2020, vol. 12, no. 12, [consulta: 15 de mayo de 2024]. DOI 10.3390/su12124920.
- [31] KINASIH, I., SURYANI, Y., PAUJIAH, E., ULFA, R.A., AFIYATI, S., ADAWIYAH, Y.R. and PUTRA, R.E. Performance of Black Soldier Fly, *Hermetia illucens*, Larvae during valorization of organic wastes with changing quality. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science [en línea]. 2020, vol. 593, [consulta: 8 de junio de 2024]. DOI 10.1088/1755-1315/593/1/012040.
- [32] LALANDER, C., ERMOLAEV, E., WIKLICKY, V. y VINNERÅS, B. Process efficiency and ventilation requirement in black soldier fly larvae composting of substrates with high water content. Science of the Total Environment [en línea]. 2020, vol. 729, [consulta: 11 de agosto de 2024]. DOI 10.1016/j.scitotenv.2020.138968.
- [33] LIANG, J., ZHAO, C., CHENG, Y., LEI, T., WU, N., WANG, X. y XU, X. Dissolved Organic Matter Features in Black Soldier Fly Larvae Frass Derived From Two Types of Meat and Bone Meals with Straw Amendments. Waste and Biomass Valorization [en línea]. 2023, vol. 14, no. 3, [consulta: 11 de agosto de 2024]. DOI 10.1007/s12649-022-01910-x.
- [34] LIEW, C.S., YUNUS, N.M., CHIDI, B.S., LAM, M.K., GOH, P.S., MOHAMAD, M., SIN, J.C., LAM, S.M., LIM, J.W. y LAM, S.S. A review on recent disposal of hazardous sewage sludge via anaerobic digestion and novel composting. Journal of Hazardous Materials [en línea]. 2022, vol. 423, [consulta: 11 de agosto de 2024]. DOI 10.1016/j.jhazmat.2021.126995.
- [35] LIN, T.-H., WANG, D.-H., ZOU, H., ZHENG, Y. y FU, S.F. Effects of salvaged cyanobacteria content on larval development and feedstock humification during black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) composting. Environmental Research [en línea]. 2022, vol. 215, [consulta: 11 de agosto de 2024]. DOI 10.1016/j.envres.2022.114401.
- [36] LIU, T., AWASTHI, M.K., AWASTHI, S.K., DUAN, Y. and ZHANG, Z. Effects of black soldier fly larvae (Diptera: Stratiomyidae) on food waste and sewage sludge composting. Journal of Environmental Management [en línea]. 2020, vol. 256, [consulta: 16 de mayo de 2024]. DOI 10.1016/j.jenvman.2019.109967.
- [37] LOPES, I.G., LALANDER, C., VIDOTTI, R.M. and VINNERÅS, B. Using *Hermetia illucens* larvae to process biowaste from aquaculture production. Journal of Cleaner Production [en línea]. 2020, vol. 251, [consulta: 10 de mayo de 2024]. DOI 10.1016/j.jclepro.2019.119753.
- [38] MEYERS, S.L., ARANA, J., GIRALDO, L.C., INGWELL, L., RODRÍGUEZ, L. y VARGAS, N. Effect of Black Soldier Fly Larvae and Food Substrates on Weed Seed Emergence. HortTechnology [en línea]. 2024, vol. 34, no. 2, [consulta: 15 de agosto de 2024]. DOI 10.21273/HORTTECH05273-23.
- [39] MURSHID, N., LAMAMING, J., SAALAH, S., RAJIN, M., & YASER, A. Z. A review of vegetable waste bio-processing techniques in rural areas. International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture [en línea]. 2024, vol. 13, no. 2, [consulta: 29 de junio de 2024]. DOI 10.57647/ijrowa.2024.1302.13.
- [40] OROZCO-ORTIZ, J.M., BAUKE, S.L., BORGEMEISTER, C., LEHNDORFF, E. y AMELUNG, W. Bioturbation by black soldier fly larvae-Rapid soil formation with burial of ceramic artifacts. PLoS ONE [en línea]. 2021, vol. 16, no. 6, [consulta: 16 de agosto de 2024]. DOI 10.1371/journal.pone.0252032.
- [41] PENDYRIN, E.A., STAROSTINA, I.V. y SOLNTSEV, P.I., 2021. Evaluation of *Hermetia illucens* fly maggots zoocompost influence on

- some agrophysical parameters of soil. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science [en línea]. 2024. S.l.: s.n., vol. 845, [consulta: 11 de agosto de 2024]. DOI 10.1088/1755-1315/845/1/012031.
- [42]PURKAYASTHA, D. y SARKAR, S., 2021. Using black soldier fly for waste management in developing countries. S.l.: s.n. ISBN 9780323852234. [consulta: 13 de junio de 2024]. DOI 10.1016/B978-0-323-85223-4.00004-X.
- [43]QIN, W., ZHANG, J., HOU, D., LI, X., JIANG, H., CHEN, H., YU, Z., TOMBERLIN, J.K., ZHANG, Z. y LI, Q. Effects of biochar amendment on bioconversion of soybean dregs by black soldier fly. Science of the Total Environment [en línea]. 2022, vol. 829, [consulta: 8 de agosto de 2024]. DOI 10.1016/j.scitotenv.2022.154605.
- [44]RAHMAT, A., RAMADHANI, W.S., PRASETYO, D., AINI, S.N., YANFIKA, H. and MUTOLIB, A. The composition of micronutrients and toxic elements in household waste compost uses black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*). IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. S.l.: s.n. [en línea]. 2021, vol. 739. [consulta: 10 de mayo de 2024]. DOI 10.1088/1755-1315/739/1/012004.
- [45]RAMPURE, S.M. and VELAYUDHANNAIR, K. Influence of agricultural wastes on larval growth phases of the black soldier fly, *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae): An integrated approach. Journal of Applied and Natural Science [en línea]. 2023, vol. 15, no. 2, [consulta: 7 de junio de 2024]. DOI 10.31018/jans.v15i2.4656.
- [46]REJEKI, F.S., WEDOWATI, E.R. y HARYANTA, D. Nutritional quality of spinach (*Amaranthus hybridus* L.) cultivated using black soldier fly (*hermetia illucens*) waste compost. Cogent Food and Agriculture [en línea]. 2023, vol. 9, no. 2, [consulta: 5 de agosto de 2024]. DOI 10.1080/23311932.2023.2279742.
- [47]SABIR, M.O., VERMA, P., MADURI, P.K. y KUSHAGRA, K. Electrically controlled artificial system for organic waste management using Black Soldier Flies with IOT monitoring. Proceedings - IEEE 2020 2nd International Conference on Advances in Computing, Communication Control and Networking, ICACCCN 2020 [en línea]. 2020, S.l.: s.n., pp. 871-875, [consulta: 13 de agosto de 2024]. ISBN 9781728183374. DOI 10.1109/ICACCCN51052.2020.9362816.
- [48]SALAM, M., ALAM, F., DEZHI, S., NABI, G., SHAHZADI, A., HASSAN, S.U., ALI, M., SAEED, M.A., HASSAN, J., ALI, N., ALI, N. and BILAL, M. Exploring the role of Black Soldier Fly Larva technology for sustainable management of municipal solid waste in developing countries. Environmental Technology and Innovation [en línea]. 2021, vol. 24, [consulta: 12 de junio de 2024]. DOI 10.1016/j.eti.2021.101934.
- [49]SUWANNAYOD, S., RAMASAMY, S.S., SUYAROJ, N., TANANCHANA, A., SIRIPHEN, S., JENRUNGROD, T. y CHAKPITAK, N. Semi-automated IoT based Cabinet for Rearing Black Soldier Fly Larvae (BSFL). Proceedings - 2022 7th International Conference on Information and Network Technologies, ICINT 2022. [en línea]. 2022, S.l.: s.n., pp. 80-84. [consulta: 13 de agosto de 2024]. ISBN 9781665482844. DOI 10.1109/ICINT55083.2022.00020.
- [50]TAN, J.K.N., LEE, J.T.E., CHIAM, Z., SONG, S., ARORA, S., TONG, Y.W. and TAN, H.T.W. Applications of food waste-derived black soldier fly larval frass as incorporated compost, side-dress fertilizer and frass-tea drench for soilless cultivation of leafy vegetables in biochar-based growing media. Waste Management [en línea]. 2023, vol. 130, [consulta: 7 de junio de 2024]. DOI 10.1016/j.wasman.2021.05.025.
- [51]USHAKOVA, N.A., ZINOVIEVA, S.V., UDALOVA, Z.V., BASTRAKOV, A.I y BUTENKO, A.I. The biodegradation of organic waste by larvae of the black soldier fly *Hermetia illucens* and the possibility of using the formed zoocompost against phytonematodes [en línea]. 2021, Pag. 163-169, [consulta: 14 de agosto de 2024]. DOI 10.25750/1995-4301-2021-2-163-169.
- [52]VILLA, R., MUÑOZ, H.M.B., JAWIARCZYK, N. y VAYA, A.M. Black soldier fly biorefinery: A novel upcycling route for municipal biosolids [en línea]. 2021. S.l.: s.n. [consulta: 12 de agosto de 2024]. ISBN 9780323852234.
- [53]XIANG, F., HAN, L., JIANG, S., XU, X. y ZHANG, Z. Black soldier fly larvae mitigate greenhouse gas emissions from domestic biodegradable waste by recycling carbon and nitrogen and reconstructing microbial communities. Environmental Science and Pollution Research [en línea]. 2024, vol. 31, no. 23, [consulta: 12 de agosto de 2024]. DOI 10.1007/s11356-024-33308-8.
- [54]XIANG, F., ZHANG, Q., XU, X. y ZHANG, Z. Black soldier fly larvae recruit functional microbiota into the intestines and residues to promote lignocellulosic degradation in domestic biodegradable waste. Environmental Pollution [en línea]. 2024, vol. 340, [consulta: 14 de agosto de 2024]. DOI 10.1016/j.envpol.2023.122676.
- [55]YUWONO, A.S., PERMANA, I.G., NURULALIA, L. and MENTARI, P.D. Decomposition characteristics of selected solid organic wastes by black soldier fly (*Bsf*) larvae as affected by temperature regimes. Polish Journal of Environmental Studies [en línea]. 2023, vol. 30, no. 5, [consulta: 10 de junio de 2024]. DOI 10.15244/pjoes/131865.
- [56]KANNAN, M., VITENBERG, T., SCHWEITZER, R., KHATIB, S. y OPATOVSKY, I. Effect of rosemary (*Rosmarinus officinalis*) supplement on the growth characteristics and larval metabolism of black soldier fly (*Hermetia illucens* L.). Journal of Insects as Food and Feed [en línea]. 2024, [consulta: 9 de agosto de 2024]. DOI 10.1163/23524588-00001214.
- [57]GONZÁLEZ-LARA, H., PARRA-PACHECO, B., AGUIRRE-BECERRA, H., FEREGRINO-PEREZ, A.A. y GARCIA-TREJO, J.F. Effects of Using Thermocomposted Frass from Black Soldier Fly Larvae as a Germination Substrate on the Phytotoxicity, Germination Index, Growth and Antioxidant Contents in Kale (*Brassica oleracea*). Agronomy [en línea]. 2024, vol. 14, no. 7, [consulta: 16 de agosto de 2024]. DOI 10.3390/agronomy14071392.