

EFECTO DE LA LUZ EN LA PRODUCCIÓN DE *HERMETIA ILLUCENS*: REVISIÓN

EFFECT OF LIGHT ON *HERMETIA ILLUCENS* PRODUCTION: REVIEW

Saúl López Juárez
Quilaztli Carolina Escobar Montoya
Juan Fernando García Trejo
Ana Angélica Feregrino Pérez
Benito Parra Pacheco
Humberto Aguirre Becerra*

Universidad Autónoma de Querétaro, México

* humbertoagbe@hotmail.com



Abstract

Black soldier fly (*Hermetia illucens*) is an organism capable of transforming organic waste into compounds that can be used in production chains; in terms of circular economy, this capacity is of great commercial interest. Currently, the insect is bred indoors and in greenhouses, under natural light conditions; however, the shortening of sunlight periods throughout the year limits fly reproduction, making it necessary to introduce complementary artificial lighting. The application of this resource has shown that the characteristics of light, such as intensity, photoperiod and electromagnetic spectrum have effects on the life expectancy of adult flies, oviposition times, number of postures, fertility and fecundity, among other parameters. Consequently, modulating supplementary artificial lighting in isolated indoor cultures could enhance the production of soldier fly larvae. This review aims to build a compendium of

Resumen

La mosca soldado negra (*Hermetia illucens*) es un organismo capaz de transformar residuos orgánicos en compuestos aprovechables en cadenas productivas; en términos de la economía circular, dicha capacidad resulta de gran interés comercial. Actualmente, el insecto se cría en interiores e invernaderos, bajo condiciones de luz natural; sin embargo, el acortamiento de los periodos de luz solar a lo largo del año limita la reproducción de las moscas, haciendo necesario introducir iluminación artificial complementaria. La aplicación de este recurso ha demostrado que las características de la luz, tales como intensidad, fotoperiodo y espectro electromagnético tienen efectos en la esperanza de vida de las moscas adultas, tiempos de oviposición, número de posturas, fertilidad y fecundidad, entre otros parámetros. En consecuencia, modular la iluminación artificial complementaria en cultivos interiores aislados podría potenciar la producción de larvas de mosca soldado. Esta revisión pretende construir un compendio de aquellos artículos que estudiaron la aplicación de sistemas de iluminación en la producción de mosca soldado negra; el objetivo final es establecer las bases para la selección de una fuente lumínica óptima en el cultivo de este organismo.

Palabras clave: dormancia, espectro electromagnético, huevo, LED, posturas, rendimiento.



those articles that studied the application of lighting systems in the production of black soldier fly; the final objective is to establish the basis for the selection of an optimal light source in the cultivation of this organism.

Keywords: dormancy, electromagnetic spectrum, egg, LED, batches, yield.

Introducción

La mosca soldado negra (MSN), *Hermetia illucens*, es capaz de convertir residuos orgánicos en compuestos incorporables a cadenas productivas; puede transformarse en harina para la alimentación animal, fertilizantes en la agricultura y lípidos para la producción de biodiesel [1], [2] (Figura 1). La MSN presenta una destacada adaptabilidad a distintos tipos de residuos orgánicos, desde heces hasta carne, vegetales y demás desechos alimentarios. Por otro lado, el tracto digestivo de las larvas puede disminuir los microorganismos patógenos presentes en la materia residual [2], [3], [4].

FIGURA 1.
Esquema del papel de la mosca soldado negra en la biotransformación de residuos orgánicos.



El rendimiento productivo de MSN a lo largo del año está sujeto a los cambios ambientales de temperatura, humedad y luz, y su ciclo biológico dura normalmente entre 39 y 47 días [4] (Figura 2); en ocasiones más, dependiendo de las condiciones climáticas [5].



Esta revisión pretende construir un compendio de aquellos artículos que estudiaron la aplicación de sistemas de iluminación en la producción de mosca soldado negra. El objetivo final es establecer las bases para la selección de una fuente lumínica óptima en el cultivo de este organismo.

En la entomocultura son habituales las estructuras expuestas a la iluminación natural [6], [7], [8]. Sin embargo, el apareamiento de MSN disminuye cuando las condiciones lumínicas fluctúan, tanto en circunstancias naturales como de laboratorio, incluso si la humedad y temperatura permanecen constantes. Por desgracia, tales fluctuaciones causan producciones irregulares —a menudo insuficientes— de huevecillos a lo largo del tiempo [9]. Una solución consiste en construir granjas en interiores que permitan regular y mantener los parámetros ambientales de manera artificial, instalando fuentes de luz estables en la producción de huevecillos [10].



FIGURA 2.

Fases del ciclo biológico de la mosca soldado negra.

Se han reportado fuentes de iluminación LED, lámparas de cuarzo, halógeno, fluorescentes y otras combinaciones para la crianza de MSN [11], y cada una tiene consecuencias en el apareamiento y en la postura [10], [12]. Sin embargo, permanecen inciertos los detalles específicos de las variables como el fotoperiodo, el espectro electromagnético, la intensidad luminosa y la irradiancia.



El objetivo de este artículo fue realizar una revisión bibliográfica de estudios relacionados con la aplicación de sistemas de iluminación artificiales; en específico, los efectos en la producción de mosca soldado negra y su potencial como base para la selección de fuentes lumínicas apropiadas para el cultivo.

Metodología

La revisión bibliográfica se elaboró a partir de fuentes primarias y secundarias mediante servicios de búsqueda como Google Scholar, Conrycyt y Redalyc [13]. Se utilizaron palabras clave como: "*Hermetia illucens*", "black soldier fly", "light", "artificial illumination" "led", "intensity", "spectrum", "indoor", "mating", "photoperiod", "diapause", "egg", "oviposition" y sus combinaciones.

Los datos extraídos del análisis de resultados, discusiones y conclusiones de los diferentes autores se enfocaron en los tópicos relacionados con la aplicación de sistemas de iluminación natural y artificial en la producción de MSN.

Resultados y discusión

Intensidad lumínica

Este parámetro cambia de forma natural a lo largo del día y el año, y difiere entre regiones según la geografía [9]. Las variaciones durante el año son determinantes en una gran variedad de organismos, porque promueven la regulación de sus ciclos biológicos [14]. En la MSN, se han reportado umbrales de intensidad mínima para el apareamiento de $63 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$; es decir, ningún encuentro se da a cualquier valor por debajo de esta cifra [7]. La instalación de lámparas en sistemas de producción disminuye las fluctuaciones en la intensidad lumínica ocasionada por el ambiente [10]. Las respuestas en la biología de la MSN expuesta a distintas condiciones lumínicas se muestran en la Tabla 1.

TABLA 1.

Respuestas de la MSN a distintos tipos de intensidad lumínica.

La intensidad de la luz es un factor determinante para el inicio del apareo. Existe una correlación positiva entre la intensidad y el número de apareamientos; sin embargo, no se reportan pruebas sobre el efecto de la intensidad en el número de posturas [7]. Una investigación [10] arroja resultados que aparentemente mejoran la postura en MSN a

CONDICIONES	RESPUESTA	REFERENCIA
<p>Cambio en la intensidad lumínica desde 63 a 200 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$. Lámparas Sylvania Gro Lux (40-watt), Pro Ultralight System (430-watt) y luz natural (ventana de 60 x 90 cm) como control. Temperatura de 22 °C y humedad relativa (HR) 60-70 %, 8 horas de luz por día. Jaula: 1.5 x 1.5 x 3 m. Dieta: Gainesville (Hogsette, 1985). Población: 750 adultos (<15 horas de edad).</p>	<p>Hay correlación positiva entre la intensidad y el número de encuentros entre hembra y macho. El apareamiento es nulo en intensidades bajas. Más del 75 % de los apareamientos ocurren en intensidades superiores a 200 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$. La hora del día afecta la frecuencia de encuentros. No se observan apareamientos bajo lámparas artificiales. Se sugiere que la luz natural es esencial en el apareamiento y fertilización de los huevos.</p>	[7]
<p>Lámpara cuarzo-yodo (500-watt QVF135, 350 a 2500 nm, 135 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$), lámpara rare-earth (450-watt, 350-450 nm, 160 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) y luz natural (invernadero). Jaula: 1.8 x 1.2 x 1.5 m. Dieta: 50 % salvado de trigo, 30 % harina de alfalfa y 20 % harina de maíz. Población: 1000 adultos recién emergidos. Temperatura de 28 °C y HR 60 %, 9 horas de luz por día.</p>	<p>No se observaron apareamientos bajo la lámpara rare-earth. La de cuarzo-yodo presentó menos apareamientos en comparación con la luz natural. Las larvas y pupas obtenidas de los tratamientos no presentaron diferencias en el tiempo de desarrollo. La longitud de onda y la intensidad tienen un efecto en el apareamiento.</p>	[8]
<p>Lámparas LED de 790 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ en la parte superior de la jaula y 47 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ en la inferior durante 16 horas al día, de 06:00 a 22:00 horas; luz solar entre 600 y 2000 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, 2 horas por día, de 10:00 a 12:00 horas. Jaula: 27 x 27 x 27 cm. Dieta: 100 g salvado, 60 g dieta de conejos, 10 g levadura seca y 240 ml agua. Población: 50 hembras y 50 machos, todos adultos.</p>	<p>Oviposición y patrones de postura similares en ambos tratamientos. La longevidad de machos cambia entre ambos tratamientos. La luz solar promueve mayor fertilidad e incubabilidad en comparación la lámpara LED.</p>	[15]
<p>Cambio en la irradiancia de 0.92 a 431 W/m^2; luz LED con picos en 440 nm y 540 nm, 14 horas diarias de luz.</p>	<p>92 % del apareamiento ocurre en el primer día. La probabilidad de apareo incrementó de un 23 % a 70 %. El apareo disminuye con el paso del tiempo en un mismo día.</p>	[12]
<p>Luz LED (23 y 5 W/m^2) con picos en 365, 450 y 515 nm en comparación con una lámpara fluorescente (24 y 14 W/m^2). Jaula: 30 x 30 x 30 cm. Población: 10 machos y 10 hembras. Temperatura de 26 °C, HR 70 %, pupas en oscuridad, 12 horas de luz por día a 23 W/m^2.</p>	<p>Las MSN expuestas a intensidades mayores de luz LED producen más huevos fértiles. Las expuestas a intensidades menores viven más. No hay diferencia significativa aparente en la producción de larvas y huevos.</p>	[10]
<p>Luz natural de 500 a 2500 lux (1382 promedio). Preferencia de sitios de oviposición: hojas secas, madera, cartón y plástico. Jaula: 60 x 60 x 60 cm. Población: 50 parejas de tamaño homogéneo. Atrayente de pollo al 60 % de humedad. Temperatura de 29.9 °C promedio y HR de 78.3 % promedio y 12 horas de luz por día aproximadamente.</p>	<p>Mayor oviposición de 11:00 a 15:00 horas, cuando la intensidad de luz (1600 a 2240 lux) y la temperatura (30.4 a 33 °C) presentaron los niveles máximos.</p>	[25]



través de la modificación de la intensidad lumínica; no obstante, el experimento no mostró diferencia significativa entre los tratamientos, quizás debido a las pocas repeticiones.

La comparación entre fuentes de iluminación artificiales y naturales evidencia que la luz solar juega un papel fundamental en la reproducción de MSN, mejorando la postura y la fertilidad. Los resultados sugieren que el sol funge como la fuente principal de los sistemas productivos de MSN, y recomiendan utilizar luz artificial complementaria en situaciones de poca iluminación causada por días nublados. Pero estos tratamientos rara vez consideran fuentes artificiales con intensidades lumínicas cercanas a la natural (mayores que $600 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$). Por otra parte, no todos los reflectores artificiales cumplen con un espectro electromagnético similar a la luz solar [7], [8], [15].

Existen artículos que reportan la intensidad lumínica en condiciones naturales, sin el uso de condiciones de iluminación estandarizadas [7], [8], [15]. Por ejemplo, [24] compara distintas intensidades de aireación en sistemas aislados de producción de larva; incluye las condiciones de humedad relativa, temperatura e intensidad de luz ambientales, y registra para esta última valores entre 3.90 y 25 469 lux. En [25] se analiza la preferencia de sitios de oviposición (hojas secas, madera, cartón y plástico) de las MSN hembras; además, la intensidad lumínica natural promedio se midió en 1382 lux con mínimos de 500 y máximos de 2500.

Dado que las características de la luz solar a lo largo del año varían con la longitud y latitud, la luz natural resulta difícil de comparar. [10] Ofrece una alternativa para los grupos control en el estudio de distintos espectros de luz; conocido como CIE D_{65} , se trata de un estándar de iluminación semejante a la luz natural. Por otra parte, el cotejo entre distintas fuentes de iluminación artificial se dificulta cuando no están descritas a cabalidad por sus creadores.

Espectro electromagnético

La mayoría de los insectos son sensibles a la luz UV [16]. La MSN adulto posee receptores capaces de detectar rangos del espectro electromagnético de 300 a 700+ nm [10]. Varios artículos han puesto a prueba distintas

fuentes de luz con variaciones en el espectro electromagnético, y han reconocido efectos en el tiempo de desarrollo y la postura, principalmente (Tabla 2). [10], también se detalló el espectro electromagnético al que responde el ojo compuesto de la MSN; el dato resulta fundamental para la fabricación de fuentes de iluminación, ya que promueve el ahorro de recursos energéticos al prescindir del rango que no genera respuesta de los fotorreceptores de la MSN. Por otra parte, aún se desconocen las intensidades óptimas basadas en este espectro y su efecto cuantitativo en la producción. Futuras investigaciones deben comprobar que las lámparas con el espectro electromagnético que sugieren los autores incrementan la producción de huevecillos y la fertilidad.

TABLA 2.

Artículos basados en la experimentación con rangos del espectro electromagnético.

CONDICIONES	RESPUESTA	REFERENCIA
<p>Comparación de 3 fuentes de luz: LED de 400 a 750 nm y pico en 438 nm; lámpara de 311 a 711 nm y picos en 430, 541, 612, y lámpara de halógeno de > 300 nm. Intensidad de 59 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ a media altura de la caja en todos los tratamientos. 16 horas de luz por día.</p> <p>Dieta: pienso de pollo molido al 60 % de humedad.</p> <p>Población: 40 machos y 40 hembras (<24 horas de edad)</p> <p>Jaula: caja de polipropileno 39 × 28 × 28 cm.</p> <p>Temperatura de 27 °C y HR 60 %.</p>	<p>El sitio de oviposición varió según la fuente de luz.</p> <p>La lámpara de halógeno generó tiempos de vida más cortos y aumentó la fecundidad.</p>	[11]
<p>Comparación de fuentes lumínicas con temperaturas de color de 3000, 4000 y 6500 K. 12 horas de luz por día.</p> <p>Dieta: Pienso de pollo.</p> <p>Jaula: 60 × 60 × 90 cm.</p> <p>Población: 200 adultos aleatorios, de pupas < 24 horas de edad.</p> <p>Temperatura de 25 °C y HR de 40 ± 10 %,</p>	<p>La diferencia en la temperatura de color no afecta el periodo de oviposición.</p> <p>El día con mayor oviposición cambia entre los tratamientos.</p> <p>La fecundidad no varía entre los tratamientos.</p>	[17]
<p>Evaluación de la sensibilidad ocular de la MSN a diferentes espectros de luz (255-760 nm).</p> <p>Dieta: alimento para pollo.</p> <p>Temperatura de 26 °C y HR 70 %.</p>	<p>Fotorreceptores R1-6 sensibles a luz UV (367 nm) y azul (440 nm). Receptor R8Y con sensibilidad máxima a espectro de 535 nm (luz verde).</p> <p>Los fotorreceptores presentan mayor excitación ante espectros producidos de manera artificial, en comparación con luz fluorescente y un control de luz CIE D₆₅.</p>	[10]

[11] y [17] experimentaron con el espectro electromagnético y constataron un efecto en las características de la postura. Sin embargo, el cambio indiscriminado del espectro electromagnético entre los tratamientos oscurece el efecto puntual de los diferentes tipos de luz en la postura. Asimismo, los tratamientos deben considerar densidades poblacionales estandarizadas que permitan maximizar la producción en jaula, así como las condiciones ambientales de temperatura, humedad y fotoperiodo.



Fotoperiodo

El fotoperiodo depende de las estaciones del año. En México se estiman 13:23 horas de luz como máximo para el periodo junio-julio 2023, mientras que en diciembre-enero se espera un mínimo de 10:53 horas de luz, aproximadamente 2 horas y media de diferencia. Del mismo modo, el acortamiento del día está acompañado por la disminución de la temperatura [18] y la consecuente aparición del efecto dormancia en los insectos: disminuyen su tasa metabólica y retrasan su desarrollo como respuesta a la llegada del invierno [19]. Se sabe que el efecto también se presenta en la MSN, de modo que los sistemas de crianza en interiores proveen una alternativa para mantener los cultivos en condiciones adecuadas de temperatura e iluminación naturales [20]. Conocer el efecto del fotoperiodo sobre la biología de la MSN podría contribuir a maximizar la producción de huevo y minimizar el tiempo de desarrollo (Tabla 3).

TABLA 3.

Artículos basados en la experimentación con distintos fotoperiodos.

CONDICIONES	RESPUESTA	REFERENCIA
<p>Prepupas expuestas a tiempos de 0, 4, 8 y 12 horas de luz; 2,8, 5478, 724 y 8450 lux respectivamente. 14 horas de luz artificial por día. Dieta: residuos orgánicos triturados. Jaula: 10 dm³. Población: 20 adultos en jaula de vuelo. 100 larvas iniciales por repetición. Temperatura de 29 °C y HR 68 %.</p>	<p>Adultos emergieron en todos los tratamientos. Las pre-pupas con 0 horas de luz tomaron menos tiempo en emerger. Fecundidad en adultos aumenta en tiempos menores de exposición a la luz. Porcentaje de emergencia aumenta en pupas expuestas a menos luz. La longevidad de adultos disminuye en pupas expuestas a más luz.</p>	[21]
<p>MSN (huevo a pupa) expuesta a 0, 8 y 12 horas de luz; 2,49, 4215 y 5650 lux respectivamente. Jaula: 1.8 × 1.8 × 1.5 m (en invernadero). Dieta: Gainesville (Hogsette, 1985). Temperatura de 27 °C y HR 70 %.</p>	<p>El tratamiento con 0 horas de luz genera larvas con tiempos promedio de vida de 29 días; 11.1 y 9.47 días para 8 y 12 horas respectivamente. Mayores tasas de emergencia en moscas expuestas a 8 y 12 horas de luz. Adultos expuestos a más horas de luz prolongan su tiempo de vida. Mayor postura de huevos en MSN en tratamientos de 0 y 8 horas de luz.</p>	[22]
<p>Comparación de diferentes fotoperiodos: 2, 6, 12 y 18 horas de luz. Con espectro de 380 a 780 nm con 40 μmol m⁻²s⁻¹ en la parte inferior de la jaula. Población: 6500 ind/m³, con proporción de sexos de 0.64 hembra dominante. Dieta: residuo cervecero y cáscara de zanahoria. Jaula: 45 × 45 × 45 cm. Temperatura de 26±1 °C y HR 60±5 %</p>	<p>El tiempo de oviposición cambió entre los tratamientos. La duración del día no afectó la eclosión de huevos. La fertilidad y la oviposición son mayores de 6 a 18 horas de luz en comparación con 2 horas de luz. El pico de oviposición ocurre antes en fotoperiodo de 12 y 18 horas de luz en comparación con 2 y 6 horas. La tasa de eclosión no muestra diferencias entre tratamientos.</p>	[23]

La etapa larvaria de la MSN es conocida por su respuesta fotofóbica, sin embargo, experimentos que utilizan luz en las distintas etapas de la MSN han encontrado diferencias en el tiempo de desarrollo de la pupa. En [21] se advirtió que las prepupas expuestas a la luz demoraban más en desarrollarse y que la emergencia mejoraba en ausencia de luz. En contraste, otro estudio realizó un experimento similar, donde la MSN fue expuesta desde las etapas de huevo a pupa a distintos fotoperiodos; los resultados mostraron que la emergencia aumenta en MSN cuando se expone a mayores cantidades de luz [22]. Quizás las discrepancias se deban a la exposición a la luz en las distintas etapas de la MSN; por eso es necesario estandarizar la prueba considerando la ausencia de luz, intensidad, fotoperiodo y espectro en todas las etapas de la MSN.

Aparentemente, la aplicación de fotoperiodos mayores a 6 horas favorece la producción de huevecillo en comparación a fotoperiodos más cortos. Además, hay que recalcar que en [23] se realizó una prueba preliminar para determinar qué densidad poblacional maximiza la postura en una jaula de vuelo. Debido a los resultados entre los fotoperiodos de 6 a 18 horas, es recomendable estrechar el rango experimental de operación en futuras investigaciones; según las aseveraciones del equipo basadas en la extrapolación de sus resultados, debe considerarse una mayor densidad y los espectros de luz recomendados anteriormente [10].

Perspectivas

De naturaleza multifactorial, la luz es una variable esencial en el desarrollo de la MSN. Actualmente existen bases científicas para estudiar el desempeño de los sistemas de iluminación artificial en términos de intensidad, espectro electromagnético, tiempo de exposición y sus efectos en algunos aspectos biológicos de la MSN. Sin embargo, futuras investigaciones deben enfocarse a los modos de predecir y controlar los efectos de la luz en los aspectos biológicos del organismo, puesto que la información disponible a la fecha todavía resulta insuficiente. Entre los tópicos a estudiar con detenimiento se encuentra el establecimiento de umbrales mínimos y máximos de intensidad lumínica, la cual debe ser considerada estrictamente con el espectro electromagnético a utilizar.



Actualmente pocos estudios ponderan las variables determinantes en el apareamiento y la oviposición: densidad poblacional, tamaño de jaula de vuelo, gradiente de intensidad y espectro electromagnético a lo largo de la jaula, proporción y maduración sexual, hidratación en jaula, tipos de atrayente, mecanismo de colecta de huevo, entre otros. Es importante que los diseños experimentales a utilizar en futuros ensayos consideren la información generada por otros artículos enfocados en la MSN, con la finalidad de obtener resultados comparables.

Aún son desconocidos los efectos a largo plazo de la exposición de insectos a fuentes de luz artificial; entonces es importante tomar en cuenta que la información actual de los ciclos biológicos no está basada en producciones intensivas. Además, hace falta efectuar estudios longitudinales sobre el efecto de las fuentes de luz artificial en la dinámica poblacional y comportamiento genético de los insectos.

Conclusiones

A pesar de que la luz natural genera buenos rendimientos en producción de huevos y larvas, su variabilidad debido a factores climáticos provoca inestabilidad en los cultivos a lo largo del año. Los sistemas de luz artificial constituyen una alternativa para aquellas producciones donde la luz natural presenta alta variabilidad debido a las condiciones climáticas. Sin embargo, aún existen retos a superar en la investigación para mejorar los sistemas de iluminación existentes, principalmente los factores que optimicen la producción y viabilidad de los huevecillos.

Futuras investigaciones deben considerar el análisis integral de las variables ambientales que afectan la producción de la MSN: el espectro electromagnético, fotoperiodo e intensidad lumínica, así como la implementación de sistemas híbridos de luz artificial y natural.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el apoyo económico otorgado. Sin su patrocinio, llevar a cabalidad este trabajo habría sido imposible.

Fuentes de financiamiento

Apoyo económico de manutención otorgado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología con número de beca 1176922.



Referencias

- [1] T. R. Green y R. Popa, "Enhanced ammonia content in compost leachate processed by black soldier fly larvae", *Applied Biochemistry and Biotechnology*, vol. 166, pp. 1381-1387, 2012.
- [2] C. H. Lalander, J. Fidjeland, S. Diener y S. Eriksson, "Vinneras, B. High waste to biomass conversion and efficient *Salmonella* spp. Reduction using black soldier fly for waste recycling", *Agronomy for Sustainable Development*, vol 35, pp. 261-271, 2015.
- [3] Y. S Wang y M. Shelomi, "Review of black soldier fly (*Hermetia illucens*) as animal feed and human food", *Foods*, vol. 6, pp. 91, 2017.
- [4] J. De Smet, E. Wynants, P. Cos y L. Van Campenhout, "Microbial community dynamics during rearing of black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) and impact on exploitation potential", *Applied and Environmental Microbiology*, vol. 84, 2018.
- [5] A. C. Samayoa y S. Y. Hwang, "Degradation capacity and diapause effects on oviposition of *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae)", *Journal of economic Entomology*, vol. 111, no. 4, pp. 930-934, 2009.
- [6] J. K. Tomberlin, P. H. Adler y H. M. Myers, "Development of the black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae) in relation to temperature", *Environmental entomology*, vol. 38, pp. 930-934, 2009.
- [7] J. K. Tomberlin y D. C. Sheppard, "Factors Influencing Mating and oviposition of black soldier Flies (Diptera: Stratiomyidae) in a Colony", *Journal of Entomological Science*, vol. 37, pp. 345, 2002.
- [8] J. Zhang, L. Huang, J. He, J. K. Tomberlin y J. Li, C. Lei, "An artificial light source influences mating and oviposition of black soldier flies, *Hermetia illucens*", *Journal of Insect Science*, vol. 3, 2010.
- [9] U. Julita, L. L. Fitri, R. E. Putra y A. D. Permana, "Mating Success and Reproductive Behavior of Black Soldier Fly *Hermetia illucens* L. (Diptera: Stratiomyidae) in Tropics", *Journal of Entomology*, vol. 17, pp. 117-12, 2020.
- [10] D. G. Oonincx, N. Volk, J. J. E. Diehl, J. J. A. Van Loon, and G. Belušič, "Photoreceptor spectral sensitivity of the compound eyes of black

- soldier fly (*Hermetia illucens*) informing the design of LED based illumination to enhance indoor reproduction", *Journal of insect physiology*, vol. 95, pp. 133-139, 2016.
- [11] C. D. Heussler, A. Walter, H. Oberkofler, H. Insam, W. Arthofer, B. C. Schlick Steiner y F. M. Steiner, Influence of three artificial light sources on oviposition and half-life of the Black Soldier Fly, *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae): Improving small-scale indoor rearing, *PLoS One*, vol. 13, no. 5, 2018.
- [12] J. C. Schneider, "Effects of light intensity on mating of the black soldier fly (*Hermetia illucens*, Diptera: Stratiomyidae)", *Journal of Insects as Food and Feed*, vol. 6, pp. 111-119, 2020.
- [13] J. A. Girao-Goris, A. Olmedo-Salas, E. Ferrer-Fernández, "El artículo de revisión", *Revista Iberoamericana de Enfermería Comunitaria*, 2007.
- [14] C. G. H. Steel y X. Vafopoulou, "Circadian orchestration of developmental hormones in the insect, *Rhodnius prolixus*", *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular and Integrative Physiology*, vol. 144, pp. 351-364, 2006.
- [15] S. Nakamura, R. T. Ichiki, M. Shimoda y S. Morioka, "Small-scale rearing of the black soldier fly, *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae), in the laboratory: low-cost and year-round rearing", *Applied Entomology and Zoology*, vol. 51, pp. 161-166, 2016.
- [16] C. J. Van Der Kooi, D. G. Stavenga, K. Arikawa, G. Belušič y A. Kelber, "Evolution of Insect Color Vision: From Spectral Sensitivity to Visual Ecology", *Annual Review of Entomology*, vol. 66, pp. 435-461, 2021.
- [17] P. Klüber, D. Bakonyi, H. Zorn y M. Rühl, "Does Light Color Temperature Influence Aspects of Oviposition by the Black Soldier Fly (Diptera: Stratiomyidae)?", *Journal of Economic Entomology*, vol. 113, no. 5, pp. 2549-2552, 2020.
- [18] Time and Date AS. "Mexico City, Ciudad de México, Mexico - Sunrise, Sunset, and Daylength". Timeanddate.com. <https://www.timeanddate.com/sun/mexico>.
- [19] D. A. Hahn y D. L. Denlinger, "Meeting the energetic demands of insect diapause: nutrient storage and utilization", *Journal of Insect Physiology*, vol. 53, pp. 760-773, 2007.



- [20] K. Tougeron, "Diapause research in insects: historical review and recent work perspectives", *Entomologia Experimentalis et Applicata*, vol. 167, pp. 27-36, 2019.
- [21] L. Ferdousi y N. Sultana, "Impact of daylight duration on pupation and adult emergence of black soldier fly (*Hermetia Illucens*)", *International Journal of Entomology Research*, vol. 6, no. 1, pp. 142-145, 2021.
- [22] L. A. Holmes, S. L. VanLaerhoven y J. K. Tomberlin, "Lower temperature threshold of black soldier fly (*Diptera: Stratiomyidae*) development", *Journal of Insects as Food and Feed*, vol. 2, pp. 255-262, 2016.
- [23] B. Hoc, G. Noël, J. Carpentier, F. Francis y R. Caparrós-Megido, "Optimization of black soldier fly (*Hermetia illucens*) artificial reproduction", *PloS One*, vol. 14, no. 4, 2019.
- [24] M. Y. Abduh, M. P. Perdana, M. A. Bara, L. W. Anggraeni y R. E. Putra, "Effects of aeration rate and feed on growth, productivity and nutrient composition of black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) larvae", *Journal of Asia-Pacific Entomology*, vol. 25, no. 2, 2022.
- [25] U. Julita, L. L. Fitri, R. E. Putra y A. D. Permana, "Ovi-trap Preference in the black soldier fly, *Hermetia illucens* L. (Diptera: Stratiomyidae)", *Journal Biological Sciences*, vol. 24, pp. 562-570, 2021.