



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

TÍTULO DE LA TESIS

**Efecto de la temperatura en la tasa de sobrevivencia,
tiempo de desarrollo y proporción sexual
de *Hermetia illucens* (Diptera, Stratiomyidae)**

**Tesis para obtener el grado de
LICENCIADA EN BIOLOGÍA**

PRESENTA:

Monica Muñoz Delgado

DIRECTOR:

Dr. César Antonio Sandoval Ruiz

CODIRECTOR:

Dr. Miguel Aragón Sánchez

ABRIL, 2024



AGRADECIMIENTOS

Agradezco profundamente a la Facultad de Ciencias Biológicas de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, al Laboratorio de Artopodología y Salud, así como al Laboratorio de Diagnóstico y Manejo de Plagas del Centro de Agroecología. Quiero expresar mi más sincero agradecimiento al Dr. César Antonio Sandoval Ruiz por su inmensa paciencia y valiosas enseñanzas, al Dr. Miguel Aragón Sánchez por su constante apoyo y al Dr. Agustín Aragón García por abrirme las puertas de su laboratorio. Su colaboración y guía fueron fundamentales en el desarrollo de esta investigación.

DEDICATORIA

A mi mamá y papá, quienes han sido mi mayor fuente de apoyo y aliento desde el inicio de esta travesía académica. Su inquebrantable esfuerzo y amor han sido el faro que me ha guiado hasta este punto.

A mi querida hermana, por ser mi confidente y compañera inseparable en este camino llamado vida, por sus consejos amorosos, sus palabras sabias y su apoyo inquebrantable en cada paso que he dado.

A Ricardo, mi compañero de vida, mi confidente y mi mayor sostén durante los momentos más desafiantes de esta travesía.

Sin su constante ánimo y su incansable apoyo, este logro no sería posible. Su presencia ha sido mi fuerza, y por eso les dedico este trabajo con todo mi amor y gratitud.

ÍNDICE

	Pág.
I Introducción	1
II Antecedentes	1
2.1 Residuos orgánicos	1
2.2 Bioconversión basada en insectos	3
2.3 Granjas de insectos como alternativa sostenible	3
2.4 <i>Hermetia illucens</i> : Características y Potencial	4
2.4.1 Ciclo de vida	5
2.4.2 Reproducción	6

2.4.3 Efecto de la temperatura	7
2.4.4 Taxonomía	8
III Justificación	8
IV Hipótesis y Objetivos	9
4.1 Hipótesis	9
4.2 Objetivos	9
V Método	10
5.1 Bioensayos	13
5.2 Análisis estadístico	14
VI Resultados	15
6.1 Tiempo de desarrollo	15
6.1.1 Estado de larva	15
6.1.2 Estado de pupa	16
6.2 Proporción sexual	17
6.3 Supervivencia	17
6.4 Porcentaje de reducción	18
VII Discusión	19
7.1 Tiempo de desarrollo	19
7.1.1 Estado de larva	19
7.1.2 Estado de pupa	20
7.2 Proporción sexual	21
7.3 Supervivencia	22
7.4 Porcentaje de reducción	22
VIII Conclusiones	23
IX Literatura citada	25

RESUMEN

La mosca soldado negro, *Hermetia illucens* Linnaeus (Diptera: Stratiomyidae), es reconocida por su capacidad de biodegradación de diversos sustratos. Debido al incremento de la producción de residuos sólidos, es importante proporcionar más información sobre su crianza en diferentes condiciones ambientales, especialmente en lo que respecta a la temperatura, ya que esta variable tiene efectos significativos en los dípteros. Este estudio determinó la influencia de la temperatura en la tasa de sobrevivencia, el tiempo de desarrollo, la proporción sexual y la tasa de reducción del sustrato, de las larvas de *H. illucens* bajo tres regímenes de temperatura (24°C, 27°C y 31°C). Estos parámetros, fueron evaluados meticulosamente durante el experimento. Se registró diariamente el tiempo de desarrollo de las larvas desde el primer día de vida hasta la etapa adulta, así como la proporción de sexos de los individuos emergentes. La sobrevivencia y mortalidad fueron monitoreadas diariamente hasta que los individuos llegaron a la etapa adulta. Además, se calculó el porcentaje de reducción del sustrato utilizando mediciones precisas del sustrato de alimentación inicial y final en cada pastillero. Estas evaluaciones proporcionaron datos fundamentales para comprender cómo la temperatura afecta diversos aspectos del ciclo de vida de *H. illucens* y su capacidad para degradar sustratos orgánicos.

En términos generales, se observó que las larvas criadas a 31°C experimentaron un desarrollo más rápido, completando el desarrollo larvario en 50 días. Aquellas criadas a 27°C mostraron una mayor tasa de sobrevivencia, alcanzando un 80%. Además, se encontró que las larvas degradaron cantidades similares de sustrato en las tres temperaturas evaluadas ($p=0.088$).

PALABRAS CLAVE

Desarrollo larval, manejo de residuos orgánicos, entomología aplicada, bioconversión.

I. INTRODUCCIÓN

La gestión de los residuos orgánicos se ha convertido en un tema de creciente importancia en la agenda medioambiental global. La inadecuada disposición de estos desechos no solo representa un riesgo para la salud pública y el medio ambiente, sino que también contribuye al agotamiento de los recursos naturales y al cambio climático. En este contexto, la bioconversión basada en insectos emerge como una alternativa sostenible y prometedora para abordar este desafío.

Los insectos, con su capacidad de consumir una amplia variedad de materiales orgánicos, se presentan como valiosos aliados en la transformación de residuos en recursos útiles. Específicamente, la especie *Hermetia illucens*, conocida comúnmente como mosca soldado negro, ha destacado por su eficiencia en la conversión de desechos orgánicos en alimentos y fertilizantes de alta calidad. Su ciclo de vida y su comportamiento reproductivo ofrecen una comprensión fascinante de cómo estos insectos pueden contribuir de manera significativa a la gestión sostenible de los residuos.

En este contexto, es fundamental explorar en detalle los aspectos clave de la biología y ecología de *H. illucens*, así como los factores que influyen en su desarrollo y reproducción, incluyendo la temperatura. Comprender estos aspectos no solo proporciona información crucial para optimizar los procesos de bioconversión, sino que también arroja luz sobre el potencial de estas especies como herramientas efectivas en la gestión de residuos a nivel industrial y comunitario.

II. ANTECEDENTES

2.1 Residuos Orgánicos

La adecuada gestión de los residuos orgánicos es una valiosa herramienta para la conservación del ambiente y el aprovechamiento sostenible de los recursos

(Avendaño *et al.*, 2020). Además, permite mitigar los impactos negativos sobre el ambiente, la salud y reducir la presión sobre los recursos naturales (Orellana & Lalvay, 2018). Esto incluye el uso de energía y agua utilizados en su producción, así como la disminución de la emisión de gases de efecto invernadero, con importantes beneficios económicos, sociales y ambientales (Dirección General de Estadística e Información Ambiental de la SEMARNAT, 2015).

Los residuos, definidos como los materiales desechados en estado sólido, semisólido, líquido o gaseoso, requieren tratamiento o disposición final según la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR). Se clasifican en tres grupos: sólidos urbanos, de manejo especial y peligrosos.

Los residuos sólidos urbanos, generados en domicilios particulares, y otros entornos, están relacionados con el aumento poblacional y el estilo de vida actual, que implica un mayor consumo de bienes y servicios (Giusti, 2009). Es fundamental prestar atención a la recolección, manejo y disposición final de estos residuos, especialmente para evitar la contaminación y garantizar su confinamiento adecuado (Regadío & Rodríguez-Rastrero, 2015).

Entre los riesgos asociados con los residuos sólidos urbanos se encuentran la generación de biogases, algunos de los cuales también son gases de efecto invernadero como el Metano (CH₄), el Dióxido de Carbono (CO₂), el Nitrógeno (N₂), Sulfuro de Hidrógeno (H₂S), Hidrógeno (H₂), Oxígeno (O₂), el Monóxido de Carbono (CO), Amoníaco (NH₃), con impactos ambientales y para la salud humana (Kiss & Encarnación, 2006). La contaminación de los suelos y de los cuerpos de agua también es un problema, ya que muchos de los residuos sólidos generan lixiviados durante su descomposición, representando un riesgo de contaminación para el ambiente (Allen, 2001; Torres *et al.*, 2011).

La FAO estima un desperdicio global de entre un cuarto y un tercio de los alimentos producidos anualmente, suficientes para alimentar a 2,000 millones de personas (Procuraduría Federal del Consumidor, 2022). Aunque, los residuos de desperdicios de alimentos son difíciles de utilizar para la recuperación de productos de valor agregado debido a su inestabilidad biológica, pueden ser tratados a través de la bioconversión por insectos (Russ & Meyer-Pittroff, 2004; Čičková *et al.*, 2015).

2.2 Bioconversión basada en insectos

Como consumidores de residuos, en los insectos encontramos especies altamente especializadas en su habilidad para desarrollarse con éxito en distintos tipos de sustratos orgánicos. Esto se conoce como bioconversión, y es un método económicamente viable para la conversión de estos residuos en materiales valiosos (Li & Liu, 2013). En la actualidad, se emplean comercialmente varias especies de insectos en la bioconversión de residuos de alimentos como la mosca de casa (*Musca domestica* L. (Diptera: Muscidae)), la polilla de barra blanca (*Cydia pomonella* L. (Lepidoptera: Tortricidae)), los grillos de campo camboyanos (*Teleogryllus testaceus* Chopard. (Gryllidae)) y los gusanos de harina amarillos (*Tenebrio molitor* L. (Tenebrionidae)) destacándose las larvas de la mosca de soldado negro (*H. illucens*), como las más utilizadas (Wang & Shelomi, 2017; Fowles & Nansen, 2020).

2.3 Granjas de Insectos como Alternativa Sostenible

Los servicios ecosistémicos derivados de la bioconversión mediante insectos ofrecen soluciones comerciales rentables para abordar el desperdicio de alimentos, con moderados requisitos de espacio y energía. Estos servicios no solo son respetuosos con el ambiente, sino que también presentan oportunidades tangibles en el mercado y poseen tasas de conversión de alimento balanceado a las del ganado convencional (Van Huis & Onincx, 2017).

En el ámbito de la ganadería, las granjas de insectos a escala industrial surgen como una alternativa para mitigar el impacto ambiental. Estas requieren menos agua y espacio en comparación con los pastos convencionales (Onincx & Boer, 2012). La cría de insectos, caracterizada por una menor huella hídrica y emisión de gases de efecto invernadero, puede desempeñar un papel crucial en la promoción de la sostenibilidad ambiental (Van Huis *et al.*, 2013). Además, algunas especies de insectos poseen el potencial para una eficiente conversión de alimento en proteína, lo que los convierte en una valiosa fuente de alimento tanto para animales como para seres humanos. Al mismo tiempo, contribuyen al reciclaje de residuos orgánicos. (Singh-Ackbarali & Maharaj *et al.*, 2017).

2.4 *Hermetia illucens*: Características y Potencial

Hermetia illucens conocida coloquialmente como mosca soldado negro, destaca por su potencial en la conversión de desechos orgánicos en alimentos y fertilizantes para animales (Del Hierro *et al.*, 2021). Es una especie de díptero braquícero perteneciente a la familia Stratiomyidae, nativa de América, que se ha extendido por todo el mundo en regiones tropicales y templadas (Sheppard *et al.*, 1994). Es una especie cosmopolita, en regiones tropicales y templadas cálidas (Cabrera & López, 2021), los adultos miden 20mm de largo, tienen una coloración negra-azulada con tarsos blanco-amarillo y dos puntos traslúcidos laterales en el segundo tergito abdominal. Las alas presentan como característica una celda discal redondeada y algunas ramas de la vena M que no convergen con el margen del ala, la celda M₃ es abierta y las venas R₅ o R₄₊₅ terminan en el ápice del ala (Giraldo *et al.*, 2019). Únicamente consume agua, no pica, y no es parásito, pero se han registrado casos de miasis dérmica y entérica por *H. illucens* en humanos y animales (Čičková *et al.*, 2015; Calderón-Arguedas *et al.*, 2005; Lee *et al.*, 1995).

Las larvas tienen una longitud de 1-4mm, con un diámetro de 0.5mm y su coloración varía desde el amarillo, verde, negro o azul con cierto aspecto metálico (Segura, 2014). Se alimentan de una gran variedad de materiales orgánicos y son utilizadas en la gestión de desechos a pequeña escala utilizando sustratos como desperdicios de comida, estiércol, paja de arroz, lodos fecales, granos de destilería, desperdicios de cocina, despojos de animales, entre otros. (Yu *et al.*, 2009; Green & Popa, 2012; Zheng *et al.*, 2012; Banks *et al.*, 2014; Nguyen *et al.*, 2015; Webster *et al.*, 2016). La diversidad de sustratos que pueden procesar y la eficiencia con la que lo hacen puede ser la más alta entre las moscas (Kim *et al.*, 2011). En comparación con la mosca de casa (*M. domestica*), *H. illucens*, se puede alimentar de desechos alimenticios, ya que este residuo es demasiado bajo en contenido de proteínas para las larvas de moscas domésticas (Hogsette, 1992).

Las larvas son comestibles, ya que tienen un alto valor protéico que se conserva a pesar de la variación del sustrato (38.55 - 62.7%) (Figueredo & Albarracín, 2021); se conoce que sus proporciones de conversión alimenticia son superiores tanto a los grillos (Gryllidae) como a los gusanos de la harina (Tenebrionidae) y, en comparación con estos, la tasa de sobrevivencia es mayor (Oonincx *et al.*, 2015). Las larvas

acumulan lípidos de su dieta que son utilizados posteriormente como energía en la etapa adulta, ya que en esta etapa no se alimentan (Wang *et al.*, 2017). Los restos que no consumen se pueden combinar con su excremento que puede ser utilizado como fertilizante, ya que es rico en nitrógeno (Green & Popa, 2012). En su fase larvaria transforma hasta el 50% de la biomasa orgánica, reintroduciéndola en las cadenas tróficas como una alternativa natural de reciclaje de nutrientes y manejo de residuos (Del Hierro *et al.*, 2021).

2.4.1 Ciclo de vida

El ciclo de vida de la mosca soldado negro comienza cuando la hembra ovoposita alrededor de 600 huevos en grietas y hendiduras cercanas a restos orgánicos húmedos y ricos en nutrientes. La incubación de los huevos es de 3 a 4 días hasta eclosionar el estado larvario. Las larvas son de crecimiento rápido y se caracterizan por seis estadios larvales. En condiciones ideales (temperatura de 24-29.3°C y humedad relativa al 70%), la larva puede madurar en 10 días, cuando ya tienen los tejidos desarrollados y han almacenado suficientes reservas (Segura, 2014). En condiciones ambientales desfavorables su ciclo de vida se puede extender de 6 a 7 semanas (Buitrago & Camargo, 2022). El tiempo de desarrollo larvario es significativamente más largo que el de otros dípteros, como moscas domésticas *M. domestica* y carroñeras (Sarcophagidae), lo que significa que una sola larva consumirá una mayor cantidad de sustrato y producirá pupas más grandes (Čičková *et al.*, 2015). Además, cuando están en la etapa de pre-pupa, instintivamente dejarán el sustrato para trasladarse a un lugar alto y limpio, a este comportamiento se le llama “auto-cosecha”, por lo que se puede eliminar un paso de su cultivo que de otro modo sería intensivo en mano de obra (Sheppard *et al.*, 1994). Es en esta etapa en la que alcanzan su máximo tamaño y es donde principalmente son usadas ya que es en donde alcanzan los niveles más altos de proteína y lípidos (Buitrago & Camargo, 2022). Todos estos beneficios hacen que las larvas sean una buena opción para criar y una herramienta adecuada para valorizar los desechos, además de una fuente de alimentación animal o humana sostenible.

El estado de pupa dura aproximadamente 14 días. Durante este tiempo, las larvas se dispersan hacia zonas más secas en preparación para la emergencia. Esta fase se caracteriza por la técnica de la ampolla frontal pulsátil, que provoca la separación

vertical del tegumento externo de la pupa, desde la cabeza hasta el quinto anillo (Buitrago & Camargo, 2022).

Una vez emergidas, las moscas adultas tienen un periodo de vida de 5 a 8 días, durante el cual se dedican a la copulación y oviposición. (Aliaga, 2019).

2.4.2 Reproducción

La reproducción de *H. illucens* se divide en apareamiento y oviposición (Tomberlin & Sheppard, 2002). En condiciones naturales, la reproducción se lleva a cabo durante todo el año en los trópicos, mientras que en las regiones templadas cálidas está restringida a unas pocas generaciones (Tomberlin & Sheppard, 2001).

Los machos se agrupan en arena o sitios de combate (*lek*), donde se encuentran con hembras voladoras (Tomberlin & Sheppard, 2001). Dos días posteriores al apareamiento, las hembras producen de 320 a 620 huevos, ovipositan en materia orgánica en descomposición y mueren en cuestión de horas (Tomberlin & Sheppard 2002).

El comportamiento de apareamiento está impulsado por la variación estacional y por la disminución de la duración de los días y la intensidad de la luz (Park *et al.*, 2010). Todas las etapas del ciclo de vida se ven afectadas por factores bióticos (cantidad y tipo de alimento, densidad poblacional, hábitat) y por factores abióticos (temperatura, humedad relativa, radiación, textura del suelo, luminosidad, oxígeno) (Sheppard *et al.*, 2002). Un ejemplo, es que en condiciones óptimas las larvas tardan aproximadamente dos semanas para convertirse en pupa pero si las condiciones no son las ideales, este tiempo se puede extender hasta por 10 meses (Sheppard *et al.*, 2002). Cotto en 1998, reportó que la temperatura y la humedad relativa son los principales factores para que ocurra un adecuado desarrollo de *H. illucens*.

Las condiciones ideales para la oviposición y eclosión de los huevos son: temperatura mayor a 26°C, humedad relativa entre 60 y 80% y alta luminosidad mientras que en el caso de las larvas se desarrollan adecuadamente a temperaturas entre 24-30°C en sustratos que contengan una dieta rica en proteínas y carbohidratos con una humedad superior al 60% y suficiente oxigenación. Sin embargo, cuando las larvas se encuentran en los estadios 3-5, la humedad no debe exceder el 40% (Giraldo, 2018; Del Hierro *et al.*, 2021).

2.4.3 Efecto de la temperatura

La temperatura afecta de forma diferencial las etapas del desarrollo de los insectos. Por ejemplo, en *H. illucens*, la temperatura incide directamente sobre el crecimiento y desarrollo de las etapas preimaginales (Harnden & Tomberlin, 2016) y la fecundidad (Marco, 2001). En un experimento realizado por Tomberlin *et al.* (2009) sobre el efecto de la temperatura en *H. illucens*, manifiestan que a temperaturas mayores a 30°C el desarrollo de la mosca disminuye y que a 27°C el desarrollo de la mosca era óptimo, tanto para machos y hembras, en comparación con el régimen de 30°C; además, encontraron que las larvas pesaban más y vivían un 10% más de tiempo. La reducción del tamaño en adultos y pupas, al igual que una vida adulta más corta están asociados con el aumento de la temperatura, posiblemente como resultado de la inanición (Byrd & Butler, 1997). Además, una adecuada temperatura es necesaria para que la eclosión de los huevos, el desarrollo de las larvas y pupas, y la emergencia de los adultos sea óptima (Holmes, 2010).

Del mismo modo sucede con la familia Calliphoridae (*Lucilia sericata*. Meigen, *Cochliomyia macellaria* Fabricius y *Chrysomya rufifacies* Macquart), en la cual se comprobó que a menor temperatura el ciclo se alarga y a mayor temperatura (siempre que esté en un rango específico, menor a 30°C) el ciclo se acorta, sobre todo en la etapa larvaria (Maheli, 2018).

La temperatura igualmente afecta la sobrevivencia en otros dípteros, ya que a temperaturas bajas la mortalidad aumenta; sin embargo, hay especies de las familias Culicidae y Tephritidae que pueden soportar temperaturas bajas sin afectar la sobrevivencia en la población (Segura *et al.*, 2004; Galavíz-Parada *et al.*, 2019). En la familia Drosophilidae el aumento de la temperatura, con respecto a su umbral, resulta en una disminución significativa del desarrollo de los huevos y consecuentemente de las larvas (Murillo, 2005), además, de que la etapa más afectada por la temperatura es el paso de larva a pupa (David & Clavel, 1969).

La temperatura también puede afectar las poblaciones, en la familia Scathophagidae, la tendencia general del crecimiento de la población aumenta de forma progresiva con respecto a la temperatura (Rojo & Marcos-García, 1991). Por todas las alteraciones que origina la temperatura, es uno de los factores físicos más importantes, y esto es porque los insectos son ectotermos, por lo que no regulan su temperatura corporal. A

temperaturas más altas incrementan su desarrollo y los llevan a envejecer más rápido, además de incrementar su tasa metabólica (Marco, 2001).

2.4.4 Taxonomía

En cuanto a la clasificación taxonómica de la mosca soldado negra (*H. Illucens*), en primer lugar, se encuentra dentro del Reino Animalia. Luego, dentro del Filo Artrópoda, se clasifica en el grupo de los insectos, arácnidos y crustáceos. Posteriormente, se sitúa en el Subfilo Hexápoda, seguido de la Clase Insecta. A continuación, se ubica en la Subclase Pterigota, específicamente en el Orden Diptera del Suborden Brachycera, dentro del Infraorden Orthorrhapha y la Superfamilia Stratiomyomorpha. Más específicamente, pertenece a la Familia Stratiomyidae, Subfamilia Hermetinae, y al Género Hermetia. Por último, encontramos a la mosca soldado negra (*Hermetia Illucens*) (Buitrago & Camargo, 2022).

III. Justificación

El incremento de la producción de residuos sólidos está directamente relacionado con el aumento poblacional y el estilo de vida actual, los cuales ocasionan un mayor consumo de bienes y servicios (Giusti, 2009). Esta tendencia hace necesario prestar atención a los temas relacionados con la recolección, manejo y disposición final de los residuos. En este sentido, uno de los temas más relevantes es el que tiene que ver con su adecuado confinamiento, con la finalidad de evitar que los sitios en los que se depositan los residuos sólidos se conviertan en focos de contaminación o infección, y se asegure que no serán dispersados (Regadío & Rodríguez-Rastrero, 2015).

Debido a este planteamiento, surge la idea de utilizar los residuos sólidos orgánicos en algo productivo, lo cual añade un valor agregado a nuestra sociedad, que está a la vanguardia de la ecología. Una de las necesidades ambientales y eco-sociales es la reducción de la contaminación del ambiente, y para esto es ineludible reducir los márgenes de basura. En este contexto, las moscas se presentan como una excelente herramienta para el aprovechamiento de los residuos orgánicos.

La presente investigación busca optimizar el método de cría de moscas *Hermetia Illucens* en función de la temperatura para un mejor aprovechamiento de la población conforme a los requisitos de la producción. Esto es crucial, ya que los residuos

orgánicos representan una parte significativa de los desechos sólidos y su gestión eficiente puede contribuir de manera considerable a la reducción de la contaminación ambiental.

La utilización de las moscas como agentes de biotransformación de residuos sólidos orgánicos tiene varias ventajas, entre ellas su capacidad para convertir estos residuos en productos valiosos como proteínas y aceites, así como su capacidad para reducir la cantidad de residuos que terminan en vertederos.

Los resultados de esta investigación no solo serán útiles para optimizar la cría de moscas *Hermetia Illucens*, sino que también servirán como base de conocimiento para futuros investigadores interesados en trabajar con este insecto y sus aplicaciones en el manejo de residuos orgánicos. Estos hallazgos podrían informar ajustes en políticas públicas relacionadas con el manejo de residuos y la conservación del ambiente, promoviendo prácticas más sostenibles y eco-amigables.

IV. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

4.1 Hipótesis

Se espera que a mayor temperatura aumente el porcentaje de reducción y la tasa de mortalidad; mientras que a una menor temperatura disminuya el porcentaje de reducción y sobrevivencia, mientras que a 27°C se presente la mayor tasa de sobrevivencia del díptero *Hermetia illucens*.

4.2 Objetivos

Objetivo general

Determinar la influencia de la temperatura en el tiempo de desarrollo, proporción sexual, tasa de sobrevivencia, y porcentaje de bioconversión de *Hermetia illucens*, en condiciones de laboratorio.

Objetivos específicos

1. Estimar el tiempo de desarrollo, proporción sexual, tasa de sobrevivencia y porcentaje de reducción de *H. illucens* con condiciones de temperatura a 24°C, 27°C y 31°C.

2. Comparar el tiempo de desarrollo, tasa de sobrevivencia y porcentaje de reducción de *H. illucens* bajo tres regímenes de temperatura.

V. MÉTODO

La colonia se estableció en junio de 2023 mediante la introducción de 200 larvas de la especie *H. illucens* adquiridas en la empresa Larvup (larvup.mercadoshops.com.mx) con sede en Ciudad de México. La crianza de estos insectos se llevó a cabo en una cámara bioclimatizada (Figura 1), que proporcionó condiciones ambientales controladas de $70 \pm 10\%$ de humedad relativa y $27 \pm 2^\circ\text{C}$ de temperatura (Muñoz & Parada, 2022). El régimen de iluminación utilizado fue de un fotoperíodo de 12:12 horas con luces LED, además de 3 horas con una lámpara de luz halógena (únicamente en la etapa adulta). Esta cámara se encuentra ubicada en el Laboratorio de Diagnóstico y Manejo de Plagas, perteneciente al Centro de Agroecología, del Instituto de Ciencias, de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla en el Val 1, Ecocampus Valsequillo.

El proceso de cría de *H. illucens* comenzó con larvas en el quinto estadio. Estas larvas se colocaron en una dieta húmeda compuesta de 80 gramos de alimento para pollos (Purina. "Granja familiar: Pollitos") (Fig. 2), la cual se mezcló con 48 mL de agua para alcanzar un nivel de humedad del sustrato del 75%. La mezcla fue dispuesta en una bandeja plástica. Las larvas se mantuvieron en la cámara de cría con las condiciones ambientales antes mencionadas. Una vez que las larvas se convirtieron en pupas, se colocaron en fibra de coco, manteniendo las mismas condiciones ambientales, en un lugar oscuro.

Una vez que los adultos emergieron, se trasladaron a una jaula nupcial de dimensiones 40 x 40 x 40 cm (Muñoz & Parada, 2022) (Fig. 3), donde se mantuvieron en vuelo libre bajo las condiciones ambientales mencionadas. Este entorno permitió la búsqueda aérea por parte de los machos, un comportamiento previo al apareamiento (Tomberlin & Sheppard, 2002).

Dentro de las jaulas nupciales, se dispuso un bebedero consistente en un plato de unicel con algodones humedecidos, azúcar y leche en polvo, de acuerdo a la metodología de Villa (2020). Los huevos de la colonia se recolectaron utilizando "trampas para huevos" elaboradas a partir de tablas de madera unidas con ligas de

hule (Booth & Sheppard, 1984) (Fig. 4). Estas trampas se colocaron sobre el sustrato de oviposición, que consiste en cadáveres de *H. illucens*, cebolla y piña.

La recolección de huevos se realizó empleando una espátula, con el objetivo de recoger la máxima cantidad de huevos en un solo movimiento y prevenir su pérdida. Estos fueron dispuestos en cuadros de plástico foam de 2x2 cm dentro de vasos plásticos cubiertos con una tela de algodón humedecida diariamente para evitar su desecación. Una vez que los huevos eclosionaron, las larvas fueron recolectadas manualmente con la ayuda de una aguja entomológica.



Figura 1. Cámara bioclimatizada.



Figura 2. Larvas de *Hermetia illucens* en el alimento para pollos



Figura 3. Jaulas de apareamiento de *Hermetia illucens*.



Figura 4. Trampas para huevos

5.1 Bioensayos

El experimento consistió en tres tratamientos con 4 repeticiones a tres temperaturas diferentes, en el cual se colocaron aleatoriamente 30 larvas, de un día de vida, aisladas en pastilleros, con 1 gramo de alimento para pollo, para cada tratamiento (Figura 5). Las condiciones a las que se sometió el experimento fueron de 24°C y 60% de humedad relativa (hR) en el laboratorio de Artropodología y Salud de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP), 27°C y 60% de hR en la cámara de cría y 31°C y 60% de hR en la cámara de germinación de la Facultad de Ciencias Biológicas (BUAP). Se examinaron sus efectos sobre el desarrollo, proporción sexual, sobrevivencia, mortalidad y porcentaje de reducción, como se explica posteriormente en el análisis estadístico,

Cada pastillero, de los tres tratamientos fué regado seis días de la semana con 0.5 mL de agua purificada y rociada con la solución antifúngica, que consistió en 1.08 g de metilparabeno, 1.08 g de benzoato de sodio diluidos en 360 mL de agua potable (Utgés, 2012). El registro de sobrevivencia y mortalidad fué tomado hasta que las larvas llevaron a cabo la emergencia.



Figura 5. Larvas aisladas de *Hermetia illucens* en cada pastillero

5.2 Análisis estadístico

Los datos fueron analizados estadísticamente utilizando el software R ® (v4.1.2; R Core Team, 2022), con el objetivo de comparar el efecto de las diferentes temperaturas sobre el desarrollo, la proporción sexual, la tasa de mortalidad, la sobrevivencia y el porcentaje de reducción.

Para verificar el ajuste de los datos a una distribución normal, se llevaron a cabo pruebas de normalidad de Kolmogorov-Smirnov. Asimismo, se realizaron pruebas de Levene para confirmar la homogeneidad de varianzas, seguidas de pruebas de análisis de varianza unidireccional (ANOVA) con un solo factor (temperatura) y tres niveles (24°C, 27°C, 31°C). En relación con las pruebas Post-hoc de Tukey, se emplearon para evaluar la influencia de dos factores (temperatura - sobrevivencia, temperatura - tiempo de desarrollo, temperatura - proporción sexual y temperatura - porcentaje de reducción) en caso de presentar varianzas iguales. Para los casos en que se detectaron varianzas distintas, se utilizó la prueba de Games Howell (Holmes, 2010).

Se determinó la duración del tiempo larvario mediante el conteo de días que abarcó el estadio larvario, así como la duración del periodo de pupación hasta la emergencia. Se realizaron evaluaciones de las diferencias entre tratamientos mediante un análisis

de varianza (ANOVA). La proporción sexual se determinó utilizando la fórmula Proporción Sexual = Número de machos/Número de hembras.

Se realizó una tabla de vida multiplicando el número de individuos muertos/vivos durante el intervalo X a X+1 (en donde X= intervalo de edad en unidades de tiempo) entre el número de individuos vivos/muertos al inicio del intervalo X a X+1, para realizar un análisis de sobrevivencia de Kaplan-Meier con los datos de la tabla de vida (Vera *et al.*, 2002) al igual que gráficas de alambre y una curva de sobrevivencia. Para calcular el porcentaje de reducción de residuos se restó el peso final del sustrato al peso inicial del sustrato (1 gramo), el resultado se dividió entre el peso inicial y se multiplicó por 100 (Rodríguez, 2021).

VI. RESULTADOS

6.1 Tiempo de desarrollo

El tiempo promedio en el que se desarrollaron las larvas, prepupas y pupas de *H. illucens* fue de 59 días en promedio bajo una temperatura de 24°C, mientras que a 27°C la duración fue de 60 días. En el caso de 31°C, el desarrollo se completó en un promedio de 50 días (Cuadro 1).

Cuadro 1. Tiempo promedio de desarrollo de *Hermetia illucens* durante la larva y la pupa, bajo diferentes temperaturas.

Temperatura	Etapa larvaria (días)	Etapa en pupa (días)	Total (días)
24°C	34±0.46	25±2.24	59±2.7
27°C	34±0.23	26±1.09	60±.32
31°C	19±0.28	31±1.47	50±1.75

6.1.1 Estado de larva

El tiempo de desarrollo larvario de la mosca soldado negro fue distinto entre las larvas criadas a 31°C y aquellas criadas a 24 y 27°C ($p < 2e-16$) ($F= 851.7$, g.l.= 2, $p < 2e-16$).

La etapa larvaria de *H. illucens* criada a 31°C duró en promedio 19 días, este promedio fue significativamente menor y estadísticamente diferente en comparación con las larvas que se sometieron a 24°C y a 27°C ($p=0.000$), en las que su etapa larvaria duró

34 días en promedio para ambos tratamientos, en donde no se encontraron diferencias significativas entre estos dos tratamientos ($p= 0.997$) (Fig. 6).

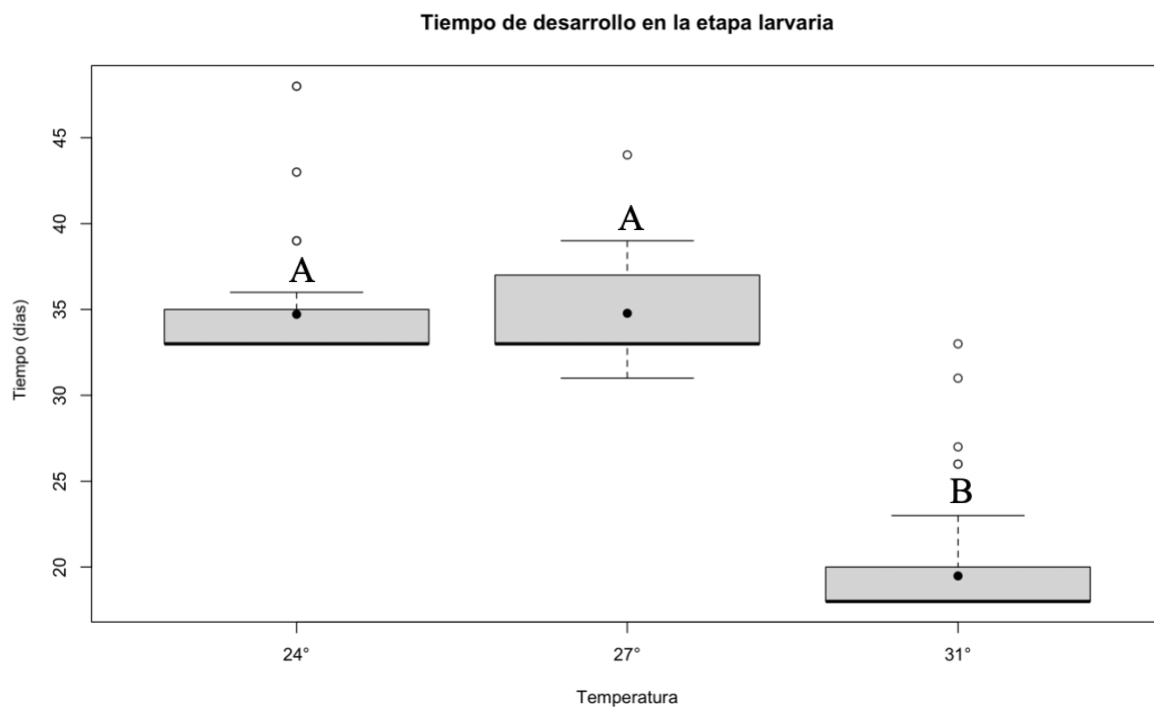


Figura 6. Diagrama de cajas y alambres del tiempo de desarrollo de *Hermetia illucens* desarrollada bajo tres regímenes de temperatura. Letras diferentes encima de cada cuadro indican diferencias significativas ($p<0.05$) entre los tratamientos.

6.1.2 Estado de pupa

Se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre el tratamiento de 31°C, con respecto al de 24°C y 27°C ($p < 0.132$) ($F= 4.495$, g.l.= 2, $p < 0.132$). Se encontró que las pupas se desarrollaron en más días (31 días en promedio) creciendo bajo el régimen más alto de temperatura ($p=0.0132$), en comparación con las pupas que se desarrollan a 24°C y 27°C, cuyas etapas de pupa duraron 21 y 26 días en promedio, respectivamente (Fig. 7).

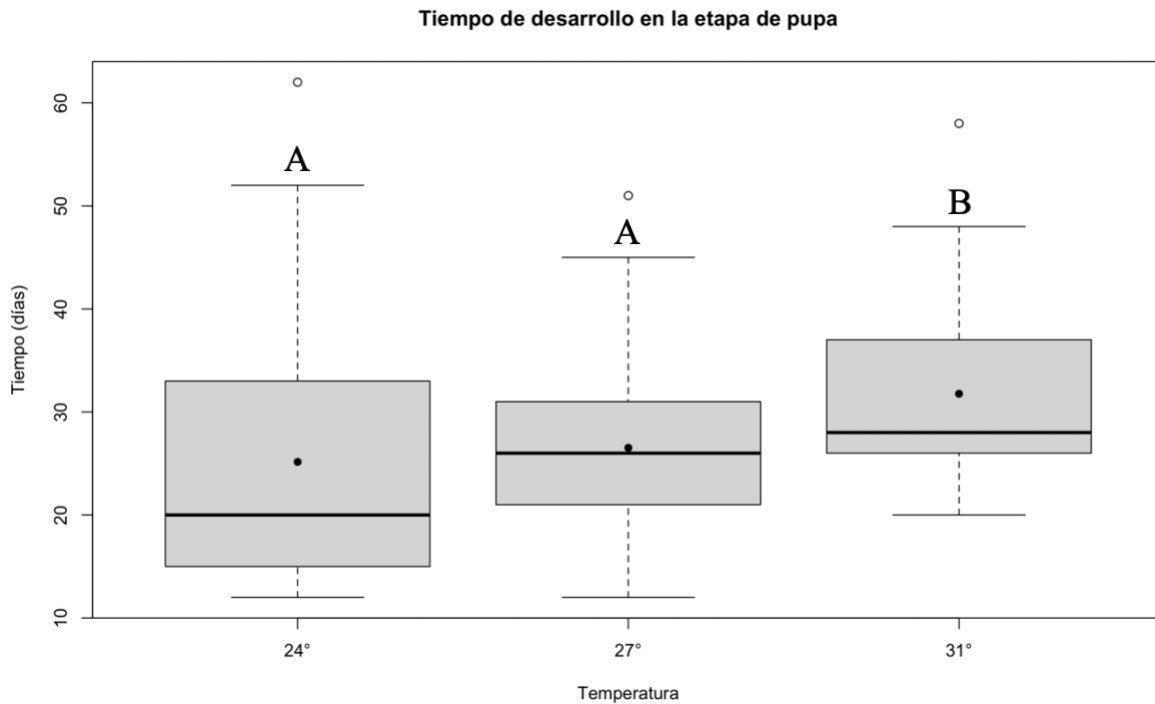


Figura 7. Tiempo de desarrollo de las pupas. Diagrama de cajas y alambres del tiempo de desarrollo (días de pupa) de *H. illucens* desarrollada bajo tres regímenes de temperatura. Letras diferentes encima de cada cuadro indican diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los tratamientos.

6.2 Proporción sexual

La proporción sexual de los adultos de *Hermetia illucens* dentro del tratamiento de 24°C presentó una proporción sexual de 1.25 ♂:1♀, es decir que por cada 100 organismos 56 serán machos y 44 hembras; mientras que para el tratamiento de 27°C fue de 1.08♂:1♀, lo que indica que por cada 100 organismos 52 serán machos y 48 hembras; y para el tratamiento de 31°C fue de 2.77♂:1♀, lo que significa que de cada 100 individuos 73 serán machos y 27 hembras.

6.3 Sobrevivencia

En las larvas y pupas expuestas a una temperatura de 24°C, se registró una sobrevivencia del 95% durante los primeros 8 días. Sin embargo, en el noveno día, la tasa de sobrevivencia disminuyó significativamente a un 58%, indicando una alta

mortalidad en la primera etapa larvaria. Del día 9 al día 84, el porcentaje de sobrevivencia de los individuos de *H. illucens* disminuyó solo un 10 %, alcanzando un 48% al concluir el experimento (Fig. 8).

El grupo de individuos de *H. illucens* sometido al tratamiento de 27°C presentó el mayor porcentaje de sobrevivencia desde el inicio hasta el final del experimento. En este grupo, se observó una tasa de sobrevivencia del 97% hasta el día 47, disminuyendo de manera gradual hasta alcanzar un 78% al final del experimento (Fig. 8). En cuanto a las larvas y pupas expuestas a 31°C, el promedio de vida fue de 45.4 días. La tasa de sobrevivencia fue del 94.2% a los 26 días, disminuyendo progresivamente hasta llegar al 68% en el día 68, manteniéndose así hasta el término del experimento.

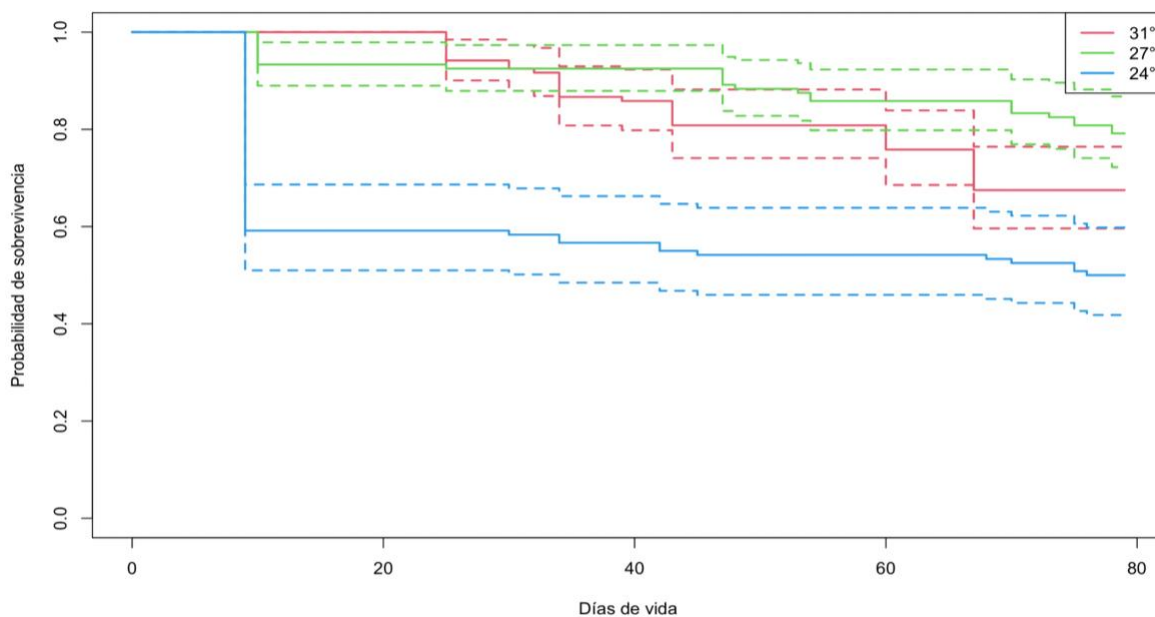


Figura 8. Curva de sobrevivencia de la etapa larvaria de *Hermetia illucens* bajo tres regímenes de temperatura (24°C, 27°C y 31°C) y consumiendo la misma dieta. Las líneas punteadas representan los intervalos de confianza, mientras que las continuas representan las curvas de sobrevivencia.

6.4 Porcentaje de reducción

Las larvas de *H. illucens* degradaron una cantidad similar de residuos orgánicos ($p=0.088$) en las tres diferentes temperaturas a las que se sometió el experimento, no

encontrando diferencia significativa entre el efecto de las tres temperaturas por el consumo de alimento (Cuadro 2).

Cuadro 2. Porcentaje de reducción de residuos orgánicos por larvas de *Hermetia illucens*, bajo tres diferentes temperaturas.

Tratamiento	Porcentaje de reducción	Estadístico
24°C	63.65%±1.49	A
27°C	51.70%±1.05	A
31°C	59.05%±0.85	A

Nota: Letras diferentes indican diferencias significativas ($p=0.088$) entre los tratamientos

VII. DISCUSIÓN

7.1 Tiempo de desarrollo

7.1.1 Estado de larva

En la etapa larvaria, los resultados muestran que, a 31°C, las larvas de *H. illucens* experimentaron un desarrollo más rápido, con una duración promedio de 19 días, en comparación con las larvas criadas bajo las temperaturas de 24°C y 27°C, las cuales se desarrollaron más lento, pues su tiempo de desarrollo larvario fue de 34 días. Este hallazgo coincide con los resultados de Ratte (1984) quien encontró que el tiempo de desarrollo larvario de *Dacus dorsalis* (Hendel, 1912) (Diptera: Tephritidae) disminuye con el aumento de la temperatura. Del mismo modo, otro estudio encontró que las larvas de *H. illucens* acortan su tiempo de desarrollo cuando crecen a temperaturas más altas (30°C) en comparación con las larvas que crecen a 25°C quienes tardaron 8 días más en alcanzar el estado de pupa (Schumo *et al.*, 2019). Es bien sabido que las larvas de mosca soldado negro son muy susceptibles a los cambios en las condiciones ambientales, y la temperatura es una variable determinante en su desarrollo (Tomberlin *et al.*, 2009; Schumo *et al.*, 2019). Este estudio muestra que el desarrollo larvario de *H. illucens* es más lento cuando se exponen a temperaturas más

bajas, lo cual probablemente se deba a la disminución de su tasa metabólica, debido a que son organismos poiquiloterms (Marco, 2001). Por otra parte, los resultados de este estudio difieren con los de Myers *et al.* (2014), quienes mencionan que las larvas de la mosca soldado negro sometidas a una temperatura de 27°C se desarrollaron en menos tiempo (19.8 días), en comparación con las larvas que fueron sometidas a un régimen más alto de temperatura (36°), las cuales tardaron 6 días más en llegar a la etapa de pupa.

7.1.2 Estado de pupa

Los resultados mostraron que las pupas de *H. illucens* tardaron más días en alcanzar el estadio adulto a temperaturas más altas, mientras que el tiempo de desarrollo de las pupas hasta la emergencia de los adultos fue significativamente menor al estar sometidas a una temperatura de 24°C y 27°C. Estos resultados difieren de lo reportado por Schumo *et al.* (2019), quienes encontraron que el tiempo de desarrollo de la pupa de la mosca soldado negro fue mayor a temperaturas más bajas (20°C), en comparación con las pupas criadas a mayor temperatura (35°C). Tal y como lo reporta Ratte (1984), en la mayoría de los insectos, a temperaturas más bajas, se observa una disminución significativa en el tiempo de desarrollo, tal y como sucede en el tiempo de desarrollo de las pupas del presente estudio. La disparidad en los resultados observados en diversos estudios de dípteros es frecuente y puede ser resultado de varios factores, como el diseño experimental (por ejemplo, variaciones en las dietas y densidades de cría) o las adaptaciones de las poblaciones originales a las condiciones ambientales locales (Harnden & Tomberlin, 2016).

La etapa de pupa duró en promedio 26 días a 27°C y 31 días a 31°C, estos resultados difieren de los encontrados por Harnden & Tomberlin (2016), quienes hallaron que las pupas alcanzaron el estadio adulto en 17 días a 27°C y 15 días a 30°C; es decir, que tardaron más días en alcanzar la etapa adulta al estar sometidas a una temperatura más baja. El retraso en su desarrollo puede estar vinculado a variables como la alimentación, las altas temperaturas, así como los períodos de humedad y sequedad (Denlinger, 1972).

En cuanto al total de días de desarrollo, difiere de los otros resultados encontrados por Harnden & Tomberlin (2016), donde el desarrollo larvario duró poco menos de la mitad de días que en estos resultados para las mismas temperaturas. Esto se debe a que las larvas que se crían en grupo experimentan un desarrollo más rápido. Estas discrepancias posiblemente se deben a la generación de calor metabólico, ya que la liberación de calor está asociada con los procesos metabólicos (Goodbrod & Goff, 1990). Dado que los tiempos de desarrollo larvario y prepupal exhiben una variabilidad significativa y podrían estar influenciados por diversos factores adicionales, aún no se comprende completamente la relación con la densidad (dieta, diapausa, temperatura, humedad, etc.) y cómo estos factores impactan en el desarrollo de *H. illucens* (Samayoa & Hwang, 2018).

7.2 Proporción sexual

A pesar de que varios estudios, como los de Addeo *et al.* (2022) y Harnden & Tomberlin (2016), no han identificado efectos de interacción entre la temperatura y el sexo de los individuos adultos de *H. illucens*, los resultados de este estudio indican que la proporción sexual varía significativamente con la temperatura. Específicamente, en condiciones de 24°C y 27°C, se observó una proporción sexual similar, mientras que a 31°C la proporción se inclinó hacia una predominancia de machos, llegando a casi el 70%. Del mismo modo, Moiroux & Brodeu (2014) señalaron que en *Trichogramma euproctidis* Girault (Hymenoptera: Trichogrammatidae) y *Sciara ocellaris* (Billberg, 1820) (Diptera: Sciaridae), se observa un incremento en la producción de machos a temperaturas elevadas (34 y 28°C); sin embargo, no existen estudios que determinen la causa de la influencia de la temperatura en la proporción sexual en los dípteros (Moiroux *et al.*, 2014).

Esta diferencia en la proporción sexual tiene implicaciones directas en la reproducción y la producción de huevos en *H. illucens*, Putra & Safa'at (2020) encontraron que en grupos donde predominaban los machos, la producción de huevos disminuye significativamente. Por lo tanto, a pesar de la aparente falta de interacción detectada en estudios anteriores, la relación entre la temperatura y la proporción sexual en *H. illucens* podría tener consecuencias importantes en términos de rendimiento

reproductivo y producción de huevos, subrayando la necesidad de una mayor comprensión de estas dinámicas para optimizar las condiciones de cría.

7.3 Sobrevivencia

Comparando los resultados obtenidos en este estudio con los de Shah *et al.* (2023), que evaluó la mortalidad de larvas de *H. illucens*, se evidencia que la temperatura desempeña un papel crucial en la mortalidad. A una temperatura de 27°C, se observó una mortalidad significativamente más rápida en comparación con los individuos criados a 18°C. En contraste, con los hallazgos del presente experimento donde las larvas criadas a 27°C vivieron más tiempo que aquellas sometidas a 24°C.

Del mismo modo, que sucede con *H. illucens*, Yusseff-Venegas (2007), reportó una disminución en la sobrevivencia de *Chrysoma rufifacies* Fabricius (Diptera: Calliphoridae) cuando la temperatura rebasa el punto óptimo. En el presente estudio, las larvas expuestas a 31°C tuvieron una mayor sobrevivencia que las criadas a 24°C, pero menor que aquellas desarrolladas a 27°C. El aumento en la mortalidad en los extremos del rango de temperaturas favorables puede tener diversas explicaciones, que van desde la desorganización en las respuestas metabólicas, que muestran pequeñas fluctuaciones en la sensibilidad a la temperatura, hasta la insuficiencia en la provisión de nutrientes y oxígeno para satisfacer el incremento en la actividad metabólica (Huffaker, 1944).

7.4 Porcentaje de reducción

En cuanto al porcentaje de reducción, se observó que las larvas de *H. illucens* exhibieron una degradación similar del sustrato bajo los tres regímenes de temperaturas ($P = 0.088$). El promedio del porcentaje de reducción de sustrato de las larvas para cada tratamiento fue mayor que el reportado por Xiao *et al.* (2018), quienes informaron una tasa de degradación del 35.8% en condiciones de humedad del 60% y a 20°C.

Igualmente, Diener *et al.* (2011), registraron porcentajes de reducción del 54.7% en lodo fecal, 59.4% en residuos de supermercado y 68% en basura orgánica municipal a 31°C, por lo tanto, otra variable que influye en el porcentaje de reducción es la dieta proporcionada, mientras que en el presente estudio los porcentajes de degradación fueron mayores. Esto se atribuye al desarrollo metabólico restringido de las larvas de

H. illucens en diversas dietas cuando la temperatura disminuye, resultando en una inhibición uniforme de la ingesta de alimentos en todas las dietas. Se ha observado que el mayor porcentaje de reducción se presenta en dietas ricas en carbohidratos, seguidas de las ricas en proteínas (Gligorescu *et al.*, 2018). En la presente investigación, la dieta suministrada contenía un 80% de carbohidratos y un 20% de proteínas.

Vale la pena resaltar la capacidad de bioconversión de *H. illucens* respecto a otras especies, Sucaticona *et al.* (2021) reportó un porcentaje de reducción en *M. domestica* del 8.41% en condiciones de temperatura entre 15-27°C, con una dieta basada en residuos de alimentos. Este porcentaje tan contrastante se debe a que el ciclo de vida de *M. domestica* es más corto, por lo que el tiempo en larva es significativamente más corto (4-7 días) (Tang *et al.*, 1984) comparado con el de *H. illucens*, que en condiciones óptimas su estadio larvario dura 10 días (Čičková *et al.*, 2015).

Estos hallazgos ofrecen conocimientos valiosos para optimizar las condiciones de cría y producción. Sin embargo, es necesario ahondar en la investigación sobre la influencia de la temperatura en la morfofisiología de esta especie y relacionarla con la variable ambiental de la humedad, la cual también es determinante en el ciclo de vida de *H. illucens*.

VIII. CONCLUSIONES

La temperatura tuvo un impacto significativo en el tiempo de desarrollo y sobrevivencia de *H. illucens*. El tiempo de desarrollo larvario bajo el régimen de 31°C fue significativamente menor en comparación con los tratamientos a 24°C y 27°C. Además, la temperatura también influyó en la etapa de pupa de la mosca soldado negro.

Los individuos de *H. illucens* que crecieron bajo el régimen de los 27°C presentaron la mayor proporción de sobrevivencia.

La temperatura no influyó en el porcentaje de reducción de alimento de las larvas de la mosca soldado negro.

Las recomendaciones para futuros trabajos con *H. illucens* son diversas. Es crucial mantener condiciones ambientales óptimas para los huevos, evitando una humedad relativa excesiva que pueda causar contaminación por hongos. Además, es importante cubrir siempre el sustrato de las larvas con una tela para evitar la contaminación por *M. domestica*. Controlar cuidadosamente la humedad del sustrato es fundamental, ya que un exceso puede provocar que las larvas busquen escapar. Asimismo, calcular la cantidad adecuada de alimento para la población es esencial para prevenir la formación de hongos. Se debe tener especial precaución con las fuentes de luz proporcionadas a las moscas adultas para evitar su esterilización. Por último, se debe estar consciente de que las moscas no siempre depositan sus huevos en las trampas designadas, por lo que se recomienda realizar una examinación minuciosa de la jaula para detectar posibles oviposiciones en otros lugares.

Las investigaciones futuras deberían tener en cuenta el desarrollar criterios adicionales para la crianza y producción de *H. illucens*, como la genética, la selección y el control de enfermedades y plagas. Esto puede contribuir significativamente a mejorar la comprensión de las condiciones ideales para su reproducción y, en última instancia, puede ser clave para optimizar su papel en la biodegradación de residuos orgánicos, lo que podría tener un impacto positivo en la gestión ambiental sostenible.

IX. LITERATURA CITADA

Addeo, N. F., Li, C., Rusch, T. W., Dickerson, A. J., Tarone, A. M., Bovera, F., & Tomberlin, J. K. (2022). Impact of age, size, and sex on adult black soldier fly (*Hermetia illucens*) L. (Diptera: Stratiomyidae) thermal preference. *Journal of Insects as Food and Feed*, 8(2), 129-139.

Aliaga Campos, L. M. (2019). Estudio de pre factibilidad para la instalación de una planta de producción de larvas de mosca soldado negra (*Hermetia illucens*).

Allen, A. (2001). Containment landfills: the myth of sustainability. *Engineering Geology* 60: 3-19.

Avendaño, C., Sánchez, M., I & Valenzuela, C. (2020). Insects: an alternative for animal and human feeding. *Revista Chilena de Nutrición*, 47, 39-46.

Banks, I., Gibson, W. & Cameron, M. (2014). Growth rates of black soldier fly larvae fed on fresh human faeces and their implication for improving sanitation. *Tropical Medicine & International Health*, 19, 14–22.

Booth, D. & Sheppard, C. (1984). Oviposition of the black soldier by *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae): eggs, masses, timing and site characteristics. *Environmental Entomology*, 13: 421-423.

Buitrago Vargas, A. T., & Camargo Díaz, M. V. (2022). Diseño del proceso de producción de harina de mosca soldado negra (*Hermetia Illucens*) alimentadas con pulpa de café.

Byrd, J. & Butler, J. (1997). Effects of temperature on *Chrysomya rufifacies* (Diptera: Calliphoridae) development. *Journal of Medical Entomology*, 34(3), 353-358.

Cabrera, D & López, A. (2021). Evaluación de la larva de mosca soldado negra (*Hermetia illucens*) como alternativa para la degradación de residuos sólidos urbanos. [Tesis de maestría] Universidad de América, 123 pp.

Calderón-Arguedas, O., Murillo Barrantes, J., & Solano, M. E. (2005). Miasis entérica por *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae) en una paciente geriátrica de Costa Rica. *Parasitología Latinoamericana*, 60(3-4), 162-164.

Čičková, H., Newton, G., Lacy, R. & Kozánek, M. (2015). The use of fly larvae for organic waste treatment. *Waste Management*. 35, 68–80.

Cotto, D. (1998). Estados inmaduros de insectos de los órdenes Coleoptera, Diptera y Lepidóptera. Manual de reconocimiento. CATIE, Turrialba Costa Rica. 153.

David, J., & Clavel, M. F. (1969). Influence de la température sur le nombre, le pourcentage d'éclosion et la taille des oeufs pondus par *Drosophila melanogaster*. In *Annales de la Société Entomologique de France* (NS).5(1): 161-177.

Del Hierro, A., Arango, M., Ortiz, S & Sánchez, L. (2021). Capturing and rearing the Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) for organic waste biodegradation in Puerto Quito, Ecuador. *Ecuadorian Science Journal*, 3.

Denlinger, D. L. 1972. Induction and termination of pupal diapause in *Sarcophaga* (Diptera: Sarcophagidae). *Biology Bulletin* 142: 11–24.

Diener, S., Zurbrügg, C., Gutiérrez, F. R., Nguyen, D. H., Morel, A., Koottatep, T., & Tockner, K. (2011). Black soldier fly larvae for organic waste treatment-prospects and constraints. *Proceedings of the WasteSafe*, 2, 13-15.

Dirección General de Estadística e Información Ambiental de la SEMARNAT. (2015). Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales. Indicadores Clave, de Desempeño Ambiental y de Crecimiento Verde. Edición 2015.

Figueredo, J., & Albarracín, M. (2021). Alternativas de alimentación de monogástricos a base de larvas de Soldado Negro (*Hermetia illucens*): Revisión de literatura. Revista colombiana de zootecnia, 7(12), 35-48.

Fowles, T.M., Nansen, C. (2020). Insect-Based Bioconversion: Value from Food Waste. In: Närvänen, E., Mesiranta, N., Mattila, M., Heikkinen, A. (eds) Food Waste Management. Palgrave Macmillan, Cham, 12, 322-339.

Galavíz-Parada, J., Vega-Villasante, F., Marquetti, M. D. C., Guerrero-Galván, S., Chong-Carrillo, O., Navarrete Heredia, J. L., & Cupul-Magaña, F. G. (2019). Efecto de la temperatura y salinidad en la eclosión y supervivencia de *Aedes aegypti* (L) (Diptera: Culicidae) procedentes del occidente de México. Revista Cubana de Medicina Tropical, 71(2).

Giusti, L. (2009). A review of waste management practices and their impact on human health. Waste Management 29: 2227- 2239.

Giraldo, M. (2018). Efecto de la humedad relativa sobre la duración y sobrevivencia de *Hypothenemus hampei* en dieta artificial ceniborca. Cenicafé, 69, pp. 32-39.

Giraldo J., M.; Rodríguez V., N; Benavides M., P. (2019). Uso potencial de *Hermetia illucens* (Linnaeus) (Diptera: Stratiomyidae) para transformación de pulpa de café: Aspectos biológicos. Revista Cenicafé 70(2):81-90.

Gligorescu, A., Toft, S., Hauggaard-Nielsen, H., Axelsen, J. A., & Nielsen, S. A. (2018). Development, metabolism and nutrient composition of black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*; Diptera: Stratiomyidae) in relation to temperature and diet. Journal of Insects as Food and Feed, 4(2), 123-133.

Green, T. & Popa, R. (2012) Enhanced ammonia content in compost leachate processed by black soldier fly larvae. Biotechnology and Applied Biochemistry. 166, 1381–1387.

Goodbrod, J. R., & M. L. Goff. (1990). Effects of larval population density on rates of development and interactions between two species of *Chrysomya* (Diptera: Calliphoridae) in laboratory culture. *Journal of Medical Entomology*, 27: 338–343.

Harnden, L. M., & Tomberlin, J. K. (2016). Effects of temperature and diet on black soldier fly, *Hermetia illucens* (L.) (Diptera: Stratiomyidae), development. *Forensic Science International*, 266, 109-116.

Holmes, L. (2010). Role of Abiotic Factors of the Development and Life History of the Black Soldier Fly, *Hermetia illucens* (L.) (Diptera: Stratiomyidae). [Tesis de maestría], Universidad de Windsor, Canadá, 168 pp.

Hogsette, J. A. (1992). New diets for production of house flies and stable flies (Diptera: Muscidae) in the laboratory. *Journal of Economic Entomology*, 85(6), 2291–2294.

Huffaker, C. B. (1944). The temperature relations of the immature stages of the malarial mosquito, *Anopheles quadrimaculatus* Say, with a comparison of the developmental power of constant and variable temperatures in insect metabolism. *Annals of the Entomological Society of America*, 37(1), 1-27.

Kim, W., Bae, S., Park, K., Lee, S., Choi, Y., Han, S. & Koh, Y. (2011). Biochemical characterization of digestive enzymes in the black soldier fly, *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae). *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 14, 11–14.

Kiss, K. Encarnación, G. (2006). Los productos y los impactos de la descomposición de residuos sólidos urbanos en los sitios de disposición final. *Gaceta Ecológica* 79: 39-51.

Lee, H. L., Chandrawathani, P., Wong, W. Y., Tharam, S., & Lim, W. Y. (1995). A case of human enteric myiasis due to larvae of *Hermetia illucens* (Family: Stratiomyiadae): first report in Malaysia. *The Malaysian journal of pathology*, 17(2), 109-111.

Li, L., Zhao, Z., y Liu, H. (2013). Viabilidad de alimentar al gusano de la harina amarillo (*Tenebrio molitor* L.) en sistemas de soporte vital bioregenerativo como fuente de proteína animal para los seres humanos. *Acta Astronautica*, 92(1), 103-109.

Maheli, I. (2018). Curvas de crecimiento y desarrollo de los primeros dípteros colonizadores de cadáveres (Díptera: Calliphoridae) en Texcoco de Mora, Estado de México (Tesis de Maestría: Colegio de Postgraduados), 83 pp.

Marco, V. (2001). Modelización de la tasa de desarrollo de insectos en función de la temperatura. Aplicación al manejo integrado de plagas mediante el método de grados-día. *Boletín SEA - Sociedad Entomológica Aragonesa*, 28, 147-150.

Moiroux, J., Brodeur, J., & Boivin, G. (2014). Sex ratio variations with temperature in an egg parasitoid: behavioural adjustment and physiological constraint. *Animal Behaviour*, 91, 61-66.

Myers, H. M., Tomberlin, J. K., Lambert, B. D., & Kattes, D. (2014). Development of black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae) larvae fed dairy manure. *Environmental Entomology*, 37(1), 11-15.

Muñoz, L. M., & Parada, M. S. (2022). Definición de las condiciones de operación para la producción de larva de mosca soldado negra (*Hermetia Illucens*) (Bachelor's thesis, Fundación Universidad de América), 91 pp.

Murillo, M. P. (2005). Efecto de la temperatura y la dieta alimentaria sobre la capacidad reproductiva de una población natural de *Zaprionus indianus* (Diptera: Drosophilidae)(tesis de pregrado). Universidad de Los Andes, Bogotá, Colombia, 61 pp.

Nguyen, T., Tomberlin, J. & Vanlaerhoven, S. (2015). Ability of black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae) larvae to recycle food waste. *Environment Entomology*. 44, 406–410.

Oonincx, D., Van Broekhoven, S., Van Huis, A. & Van Loon., J. (2015). Feed conversion, survival and development, and composition of four insect species on diets composed of food by-products. *Plos One*, 10, e0144601.

Oonincx, D. & Boer, I. (2012). Environmental impact of the production of mealworms as a protein source for humans—A life cycle assessment. *Plos One*. 7, e51145.

Orellana, J. & Lalvay, T. (2018). Uso e importancia de los recursos naturales y su incidencia en el desarrollo turístico. Caso Cantón Chilla, El Oro, Ecuador. *Revista Interamericana de Ambiente y Turismo*, 14, pp. 65-79.

Park, K., Kim, W., Lee, S., Choi, Y. & Nho, S. (2010). Seasonal pupation, adult emergence and mating of black soldier fly, *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae) in artificial rearing system. *International Journal of Industrial Entomology*; 21(2):189–91.

Procuraduría federal del consumidor. (2022). Evita el desperdicio de alimentos. agosto 1, 2022, de Gobierno de México Sitio web: <https://www.gob.mx/profeco/documentos/evita-el-desperdicio-de-alimentos?state=published>

Putra, R. E., & Safa'at, N. (2020). Study on sex determination and impact of sex ratio to reproduction success in black soldier fly. *Jurnal Biodjati*, 5(2), 191-198.

Ratte, H. T. (1984). Temperature and insect development. In *Environmental physiology and biochemistry of insects* (pp. 33-66). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

R Core Team (2022). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Australia. URL <https://www.R-project.org/>.

Regadío, M., Ruiz, M. & Rodríguez-Rastrero, J. (2015). A containment and attenuating layers: An affordable strategy that preserves soil and water from landfill pollution. *Waste Management*. 46, 408-419.

Rodríguez, L. A. (2021). Bioconversión y biodegradación de diferentes sustratos orgánicos usando *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae) y descripción del ciclo de vida bajo estas dietas (Doctoral dissertation, Zamorano: Escuela Agrícola Panamericana, 2021), 48 pp.

Rojo, S., & Marcos-García, M. (1991). Biología y actividad imaginal de *Scathophaga stercoraria* (Linnaeus, 1758), en un encinar mediterráneo (Diptera, Scathophagidae). Universidad de Alicante. Departamento de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales, 144 pp.

Russ, W. & Meyer-Pittroff, R. (2004). Utilizing Waste Products from the Food Production and Processing Industries. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 44, 57–62.

Samayoa, A. C., & Hwang, S. Y. (2018). Degradation capacity and diapause effects on oviposition of *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae). *Journal of Economic Entomology*, 111(4), 1682-1690.

Segura, M. (2014). Composición bromatológica de *Hermetia illucens*. [Tesis de maestría no publicada]. Universidad de Almería, 80 pp.

Segura, D. F., Vera, M. T., & Cladera, J. L. (2004). Fluctuación estacional en la infestación de diversos hospedadores por la mosca del Mediterráneo, *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae), en la provincia de Buenos Aires. *Ecología Austral*, 14(1), 3-17.

Shah, P. N., Ruan, X., van Loon, J. J., & Dicke, M. (2023). Temperature-modulated host-pathogen interactions between *Hermetia illucens* L.(Diptera: Stratiomyidae) and *Pseudomonas protegens* Pf-5. *Journal of Invertebrate Pathology*, 198, 107934.

Sheppard, D., Tomberlin, J., Kiser, J. & Sumner, S. (2002). Rearing Methods for the Black Soldier Fly (Diptera: Stratiomyidae). *Journal of Medical Entomology*, 39, 695-698.

Sheppard, D., Newton, G., Thompson, S. & Savage, S. (1994). Un sistema de gestión de estiércol de valor añadido que utiliza la mosca soldado negra. *Bioresource Technology*. 50, 275-279.

Schumo, M., Khamis, F. M., Tanga, C. M., Fiaboe, K. K., Subramanian, S., Ekesi, S., & Borgemeister, C. (2019). Influence of temperature on selected life-history traits of black soldier fly (*Hermetia illucens*) reared on two common urban organic waste streams in Kenya. *Animals*, 9(3), 79.

Singh-Ackbarali, D. & Maharaj, R. (2017). Mini livestock ranching. Solution to reducing the carbon footprint and negative environmental impacts of agriculture. *Environmental Sustainability and Climate Change Adaptation Strategies*. Ganpat, W., Isaac, W.-A., Eds.; IGI Global: Hershey, PA, USA; 188–212.

Sucaticona, R. S., Gómez, Y. M. A., & Rodríguez, E. D. P. (2021). Evaluación del uso de larvas de Mosca doméstica (*Musca domestica* L.) como tratamiento biológico de residuos orgánicos municipales. *Revista de Iniciación Científica*, 7(1), 71-83.

Tang Chiong, R., Navarro Ortega, A., & Fresneda Vidal, M. (1984). Estudio del ciclo de vida de la *Musca domestica* en el laboratorio. *Revista Cubana de Medicina Tropical* 110-7.

Tomberlin, K & Sheppard, D. (2001). Lekking behavior of the black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae). *Florida Entomologist*. 84, 729.

Tomberlin, K & Sheppard, D. (2002). Factors influencing mating and oviposition of black soldier flies (Diptera: Stratiomyidae) in a colony. *Journal Entomology Science*. 37, 345–52.

Tomberlin, K., Adler, H., & Myers, M. (2009). Development of the black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae) in relation to temperature. *Environmental Entomology*, 38(3), 930-934.

Torres, S., Barrientos, M. & Hernández, L. (2011). Afectación ambiental del tiradero a cielo abierto de Almoloya del Río, estado de México. *Hacia la sustentabilidad: los residuos sólidos como fuente de materia prima y energía. Memorias 4o. Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos, 4o. Encuentro Nacional de Expertos en Residuos Sólidos. México*, 253-257.

Utgés, M. (2012). Supervivencia y dispersión en moscas de los frutos del género *Anastrepha* (Diptera: Tephritidae): efecto de la alimentación post-teneral (Doctoral dissertation, Universidad de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales), 152 pp.

Van Huis, A., Van Itterbeeck, J., Klunder, H., Mertens, E., Halloran, A., Muir, G. & Vantomme, P. *Edible Insects (2013): Future Prospects for Food and Feed Security*; Food and agriculture organization of the United Nations (FAO): Rome, Italy, 171.

Van Huis, A., & Oonincx, D. G. (2017). La sostenibilidad ambiental de los insectos como alimento y alimento. Una revisión. *Agronomía para el Desarrollo Sostenible*, 37(5), 43.

Vera, J., Pinto, V., Collado, J. & Reyna, R. (2002). *Ecología de poblaciones de insectos*. México: Colegio de Postgraduados, 146 pp.

Villa, R. (2020). Parámetros biológicos y tablas de vida de *Drosophila suzukii* Masumura (Diptera: Drosophilidae) en una dieta semisintética a base de plátano. [Tesis de licenciatura no publicada]. Instituto Tecnológico del Valle de Morelia.

Wang, C., Qian, L., Wang, W., Wang, T., Deng, Z., Yang, F., Xiong, J. & Feng, W. (2017). Exploring the potential of lipids from black soldier fly: New paradigm for biodiesel production (I). *Renewable Energy*, 111, 749–756.

Wang, Y.-S., & Shelomi, M. (2017). Revisión de la mosca de soldado negro (*Hermetia illucens*) como alimento para animales y alimento humano. *Alimentos*, 6(10), 91.

Webster, C., Rawles, S., Koch, J., Thompson, K., Kobayashi, Y., Gannam, A., Twibell, R. & Hyde, N. (2016). Bio-ag reutilization of distiller's dried grains with solubles (DDGS) as a substrate for black soldier fly larvae, *Hermetia illucens*, along with poultry by-product meal and soybean meal, as total replacement of fish meal in diets for Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Aquaculture Nutrition*, 22, 976–988.

Xiao, X., Mazza, L., Yu, Y., Cai, M., Zheng, L., Tomberlin, J. K., ... & Zhang, J. (2018). Efficient co-conversion process of chicken manure into protein feed and organic fertilizer by *Hermetia illucens* L. (Diptera: Stratiomyidae) larvae and functional bacteria. *Journal of environmental management*, 217, 668-676.

Yu, G., Chen, Y., Yu, Z. & Cheng, P. (2009). Research progress on the larvae and prepupae of black soldier fly *Hermetia illucens* used as animal feedstuff. *Chinese Journal of Applied Entomology*. 46, 41–45.

Yusseff-Vanegas, S. Z. (2007). Efectos de la temperatura sobre el desarrollo de *Chrysomya rufifacies* y *Cochliomyia macellaria* (Diptera: Calliphoridae), dos especies importantes para la entomología forense en Puerto Rico (Doctoral dissertation: Universidad de Puerto Rico, Recinto Universitario de Mayagüez) 84 pp.

Zheng, L., Hou, Y., Li, W., Yang, S., Li, Q. & Yu, Z. (2012). Biodiesel production from rice straw and restaurant waste employing black soldier fly assisted by microbes. *Renewable Energy*. 47, 225–229.