

Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano
Departamento de Ciencia y Producción Agropecuaria
Ingeniería Agronómica



Proyecto Especial de Graduación
Bioconversión y biodegradación de diferentes sustratos orgánicos
usando *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae) y descripción del
ciclo de vida bajo estas dietas

Estudiante

Luis Antonio Rodríguez Jabalera

Asesores

Jesus Orozco, PhD

Rogelio Trabanino, MSc

Katerin Aguilar Veroy, Lic

Honduras, agosto 2021

Autoridades

TANYA MÜLLER GARCÍA

Rectora

ANA MARGARITA MAIER

Vicepresidenta y Decana Académica

ROGEL CASTILLO

Director del Departamento Académico

HUGO ZAVALA MEMBREÑO

Secretario General

Contenido

Índice de Cuadros.....	5
Índice de Figuras	6
Índice de Anexos	7
Resumen	8
Abstract.....	9
Introducción.....	10
Materiales y Métodos.....	13
Ubicación del Experimento.....	13
Diseño Experimental.....	13
Manejo del Experimento	13
Tratamiento de los Residuos Suministrados.....	15
Variables a Medir	16
Ancho de la Cápsula Cefálica	16
Peso.....	16
Longitud de Larva.....	16
Duración de la Etapa Larval	16
Porcentaje de Reducción de Residuos	16
Porcentaje de Bioconversión de Masa.....	17
Análisis Estadístico	17
Resultados y Discusión.....	18

Ancho de la Cápsula Cefálica y Estadios de las Larvas	18
Peso por Larva.....	22
Longitud de la Larva	26
Duración Total del Ciclo Larval.....	28
Porcentaje de Reducción de Residuos	29
Prueba de Correlación	36
Conclusiones	37
Recomendaciones.....	38
Anexos.....	42

Índice de Cuadros

Cuadro 1 Ancho (mm) de la cápsula cefálica de las larvas de <i>Hermetia illucens</i> alimentadas con diferentes dietas tomada al día de cosecha de las larvas (75% de migración en bandejas).	18
Cuadro 2 Comparación del Peso de las larvas (g) según el estadio larval en el que se encuentran . . .	23
Cuadro 3 Peso por larvas (g) al día de cosecha (75% de larvas migratorias en las bandejas).	25
Cuadro 4 Correlación entre el peso de las larvas y longitud de las larvas aplicando coeficiente de correlación de Pearson.	26
Cuadro 5 Longitud por larva (mm) al día de cosecha (75% de migración en bandejas).....	27
Cuadro 6 Duración (días) que tardan las larvas para la descomposición de los residuos.	28
Cuadro 7 Porcentaje de reducción de los residuos (%).	30
Cuadro 8 Porcentaje de bioconversión de masa.	34
Cuadro 9 <i>Correlación entre el ancho de la cápsula cefálica de las larvas y las variables peso y longitud de las larvas aplicando coeficiente de correlación de Pearson.</i>	<i>36</i>

Índice de Figuras

Figura 1 A: adulto de <i>Hermetia illucens</i> ovipositando, B: huevos recolectados de la postura de los adultos de <i>Hermetia illucens</i> , C: siembra de los huevos (0.5 g), D: huevos agrupados por tratamientos guardado en cámara de eclosión, cubiertos con tela para evitar entrada de otros insectos.	14
Figura 2 Transferencia de larvas a bandejas de crianza utilizadas durante el experimento. (A) Bandeja de 97 oz al día siete; (B) Bandejas de 2.5 galón al día 10.	15
Figura 3 Ancho de la cápsula cefálica de las larvas de <i>Hermetia illucens</i> alimentadas con diferentes dietas (mm). (A): Ancho de la cápsula cefálica de las larvas en los residuos del Comedor Doris Stone, (B): Ancho de la cápsula cefálica de las larvas del estiércol de cerdo, (C): Ancho de la cápsula cefálica en las larvas del estiércol de vaca, (D): Ancho de la cápsula de las larvas en la mezcla 1:1.....	20
Figura 5 Gráfica comparativa de longitud entre los tratamientos a lo largo del ciclo (mm). RCDS= residuos del Comedor Doris Stone, EC=estiércol de cerdo, EV=estiércol de vaca 1;1= Mezcla 1:1 estiércol de cerdo; estiércol de vaca.	27
Figura 6 Estructura de los residuos de las larvas, al final del ciclo larval. (A): residuos del Comedor Doris Stone, (B): estiércol de cerdo, (C): estiércol de vaca, (D): mezcla 1:1.	31
Figura 7 Grafica comparativa de porcentaje de bioconversión. RCDS: Residuos del Comedor Doris Stone, EC: estiércol de cerdo, 50%-EC,50%-EV: mezcla 1:1 estiércol de cerdo-estiércol de vaca, EV: estiércol de vaca.	34
Figura 8 Muestra de larvas al final del experimento. T1: residuos del Comedor Doris Stone, T2: estiércol de cerdo T3: estiércol de vaca T4: mezcla 1:1 estiércol de cerdo; estiércol de vaca.	35

Índice de Anexos

Anexo A Rango del ancho (mm) de la cápsula cefálica por larva en los tratamientos por estadio larval.	42
Anexo B Ancho (mm) de la cápsula cefálica por larva en los tratamientos en función del tiempo de desarrollo de las larvas.	43
Anexo C Comportamiento del peso (g) por larva de los tratamientos en función del tiempo de desarrollo.	44
Anexo D Comportamiento de la media de la longitud (mm) de las larvas en los tratamientos en función de tiempo de desarrollo.....	45
Anexo E Peso de biomasa (kg) al final de los tratamientos.	46
Anexo F Eclosión de los huevos de <i>H. illucens</i> al día 5 de los tratamientos.	47
Anexo G Cosechas de larvas.....	48

Resumen

Las regulaciones ambientales impuestas al sector agropecuario sobre la disposición de sus desperdicios orgánicos como estiércol ha llevado al sector a buscar alternativas sostenibles para su manejo. La mosca guarera, *Hermetia illucens* L., es una potente solución para este problema, puesto aparte de ser un gran descomponedor de una amplia gama de residuos orgánicos puede, de manera adicional, ser usada en la alimentación animal. Este trabajo estudió la duración del ciclo larval, los efectos en el crecimiento, y el porcentaje de reducción de desechos y de bioconversión de masa de *H. illucens* alimentada con diferentes sustratos: estiércol de vaca, estiércol de cerdo, estiércol de vaca+estiércol de cerdo (1:1), y residuos alimenticios del comedor estudiantil. Se usó un Diseño Completamente al Azar con cuatro tratamientos y tres repeticiones, a cuyos resultados se le realizó un análisis de varianza con prueba de separación de media Duncan. Se encontró que el tiempo de desarrollo fue más largo para las larvas criadas en el estiércol de vaca (31 días). Las larvas alimentadas con los residuos del Comedor Doris Stone obtuvieron una cápsula cefálica más ancha (1.2 mm), mayor peso (0.25 g) y longitud por larva (22 mm) que los demás tratamientos. El mayor porcentaje de reducción de residuos lo obtuvieron las larvas del tratamiento de estiércol de vaca (89.75%), mientras que los residuos del Comedor Doris Stone tuvieron el mayor porcentaje de bioconversión de masa (15.71%).

Palabras clave: cápsula cefálica, peso, longitud, reducción, larvas.

Abstract

Environmental regulations imposed on the agricultural sector on the disposal of its organic waste such as manure, has led the sector to seek sustainable alternatives to treat waste in an environmentally friendly way. *Hermetia illucens* L. is a powerful solution to this problem, since it is a great decomposer of a wide range of organic residues). This study was carried out to determine the duration of the larval cycle, evaluate the effects on growth and determine the percentage of waste reduction and the percentage of bioconversion of mass, of *H. illucens* fed with different substrates: cow manure, pig manure , cow manure + pig manure (1: 1), and waste from the dining room. A Completely Random Design was used with four treatments and three repetitions, the results of which were analyzed with a variance analysis with a Duncan mean separation test. Development time was found to be longer for larvae reared in cow manure (31 days). The larvae fed with Doris Stone Eater residues obtained a wider head capsule (1.2 mm), greater weight (0.25 g) and length per larva (22 mm) than the other treatments. The highest percentage of waste reduction was obtained by the larvae from the cow manure treatment (89.75%), while the waste from the Doris Stone Dining Room had the highest percentage of mass bioconversion (15.71%).

Keywords: cephalic capsule, weight, length, reduction, larvae.

Introducción

Para el año 2050 se espera que la población mundial supere los 9,000 millones de habitantes, lo que implica un aumento en la demanda de alimento y por consiguiente de desechos derivados de estos (Godfray et al. 2010). Por ejemplo, se estima que la producción de cereales al igual que la producción de carne y productos lácteos tendrán que aumentar hasta en un 70%, lo cual, producirá mucho más residuos y estiércol (Arroyave et al. 2019). Para manejar este aumento de desechos orgánicos, se deben de disponer de estrategias de reciclados u organismos que sean buenos descomponedores de materia orgánica, como lo es *Hermetia illucens* (L.) una mosca de la familia Stratiomyidae.

Las regulaciones ambientales han forzado a las granjas y fincas a buscar alternativas para la eliminación de la manera más ecológica posible de sus residuos, teniendo estos que implementar nuevas tecnologías para una producción más amigable con el ambiente (Čičková et al. 2015). La producción amigable con el ambiente actualmente es un tema de gran interés en los sistemas de producción de alimentos. La disposición de estiércol directamente al suelo en grandes volúmenes puede ser fuente de enfermedades en los humanos, contaminación de los afluentes, mal olor, liberación de amoníaco, y altas emisiones de gases de efecto invernadero (Pelaez-Samaniego et al. 2017). Solo el uso de lagunas como alternativas de manejo no es suficiente para reducir los problemas ambientales relacionados con el mal manejo de estiércol; la cría de insectos podría ser una solución eficaz a dicho problema (Miranda et al. 2019).

La mosca guarera como comúnmente se la llama a *Hermetia illucens*, es una especie endémica de las zonas tropicales, subtropicales y templadas cálida de América (Hoc et al. 2019). Las larvas de la mosca guarera pueden descomponer numerables tipos de desechos orgánicos como vegetales, frutas, residuos alimenticios y estiércol, los cuales transforma en masa corporal logrando obtener hasta un 42% de proteína y 29% de grasas en su composición nutricional (Wang y Shelomi 2017). Debido a estas

cualidades nutricionales, *H. illucens* es una de las alternativas más prometedoras para la alimentación animal (Lupi et al. 2019).

Los adultos de la mosca son insectos negros, grandes, y llamativas de hasta 20 mm de largo, estos no son voladores fuertes y pasan la mayor parte del día descansando sobre la vegetación (Čičková et al. 2015). Las moscas duran de cinco a ocho días de vida durante los cuales se aparean y luego, la hembra oviposita entre 500 a 900 huevos (Macavei et al. 2020). Los huevos eclosionan aproximadamente después de cuatro días y pasan por un estado de larva de 13 a 18 días (Smet et al. 2018). Las larvas neonatas, son de poco más de un milímetro de largo, de color blanco y con diez anillos con pelos en cada anillo (Salas 2019).

El estado larvario de la mosca guarera se caracteriza por la acumulación de importantes triglicéridos los cuales utiliza para su transformación en adulto; esta característica ha despertado el interés para su uso como alimento de animales domésticos (Salas 2019). Las larvas son de rápido crecimiento y tienen seis estadios (L1, L2, L3, L4, L5 y larva migratoria), los cuales se pueden diferenciar por la cápsula cefálica. Otras formas de determinar la edad de las larvas son midiendo los espiráculos posteriores, o la composición de hidrocarburos de la cutícula, debido a que, se pueden encontrar diferencias muy significativas en cada suceso de estadio en las larvas, sin embargo, se necesita tecnología más sofisticada para llevar a cabo estas técnicas (Gobbi 2012).

El desarrollo de *H. illucens*, es afectado por factores ambientales como la temperatura, la humedad relativa, y la humedad del sustrato, pero sobre todo por el valor nutricional del recurso alimenticio (Nguyen et al. 2013). En la crianza de larvas de *H. illucens* el tiempo de desarrollo, la eficiencia de producción, bioconversión y la sobrevivencia de esta difiere en dependencia del nutriente a utilizar, (Miranda et al. 2020); de no manejarse bien estos parámetros, se prolongará el tiempo de desarrollo larval, habrá menor crecimiento y menor ganancia de biomasa. Larvas alimentadas con más residuos por día tienen más peso como larvas, pupas y adultos, se desarrollan

más rápido, viven más como adulto y convierten más recursos en biomasa que las alimentadas con menos residuos, (Miranda et al. 2019).

La mosca guarera presenta ventajas como descomponedor de desechos biológicos, debido a la amplia gama de desperdicios orgánicos de lo que puede alimentarse, ya que la materia orgánica no requiere un tratamiento previo, además trabaja mucho más rápido que los procesos con la lombriz roja californiana *Eisenia fetida* (Savigny) (Gomez 2018).

En este estudio se plantearon los siguientes objetivos: describir el efecto en la duración del ciclo larval de *H. illucens* de la alimentación con estiércol de diferentes animales y los residuos del comedor; analizar la curva de crecimiento de *H. illucens* alimentadas con diferentes o sustratos; y, determinar el porcentaje de bioconversión y reducción de desechos de las larvas de *H. illucens* en diferentes sustratos orgánicos.

Materiales y Métodos

Ubicación del Experimento

El estudio se realizó en el Laboratorio de Entomología de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, ubicada en el Valle del Yeguaré, kilómetro 30 al este de Tegucigalpa, departamento de Francisco Morazán, Honduras. El sitio posee una elevación de 800 m.s.n.m, con una precipitación durante los meses del estudio (diciembre-marzo) de 462.4 mm y una temperatura promedio de 24.1 °C.

Diseño Experimental

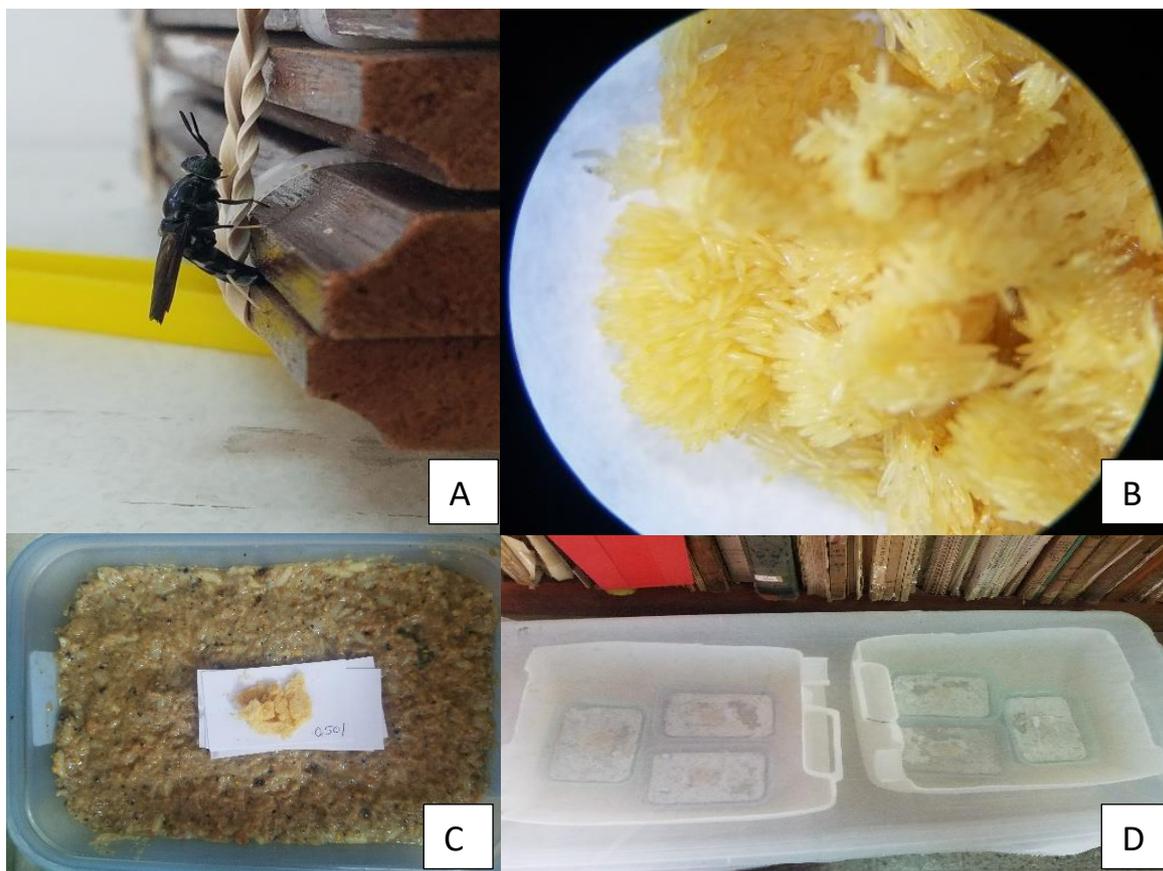
Se utilizó un Diseño Completamente al Azar (DCA), compuesto por cuatro tratamientos: residuos del Comedor Doris Stone (RCDS), estiércol de cerdo (EC), estiércol de vaca (EV), y una mezcla 1:1 de EC y EV. Se realizaron tres repeticiones por tratamiento para un total de 12 unidades experimentales.

Manejo del Experimento

Para llevar a cabo el experimento, se recolectaron huevos de *H. illucens* del área de cría en el laboratorio, posteriormente se colocaron 0.5 g de huevos en bandejas con capacidad de 0.40 kg con 0.25 kg de una mezcla de 90% RCDS y 10% de concentrado para pollo, y se mantuvieron en el cuarto de eclosión de huevos a una temperatura de 29 ± 2 °C (Figura 1).

Figura 1

A: adulto de *Hermetia illucens* ovipositando, B: huevos recolectados de la postura de los adultos de *Hermetia illucens*, C: siembra de los huevos (0.5 g), D: huevos agrupados por tratamientos guardado en cámara de eclosión, cubiertos con tela para evitar entrada de otros insectos.



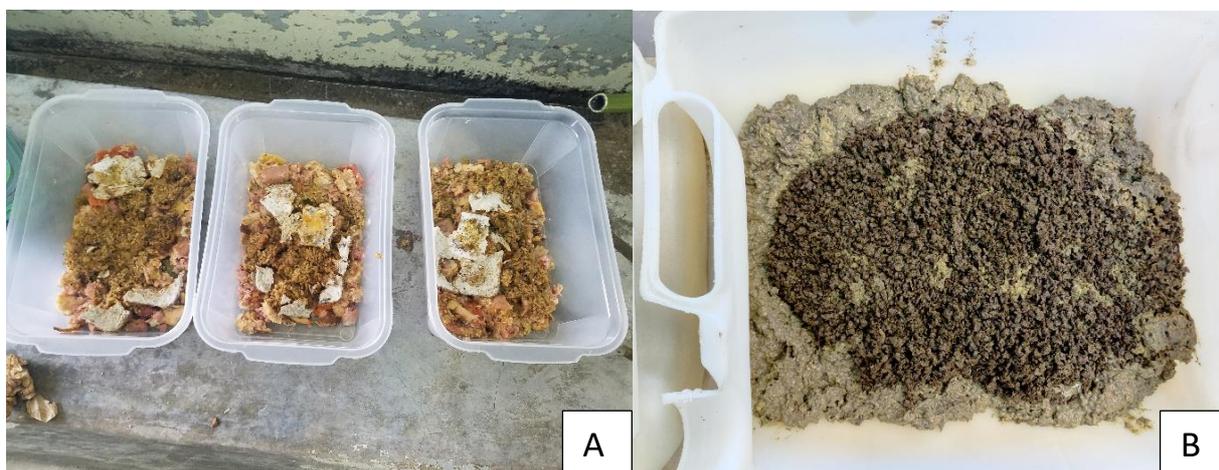
El peso por huevo oscila entre los 0.025 – 0.028 mg (Hoc *et al.* 2019); (Macavei *et al.* 2020). Por lo que se estima una cantidad de 19,230 huevos en cada tratamiento. Las unidades experimentales se observaron diariamente para determinar el día de eclosión de los huevos e iniciar la toma de datos. Para el muestreo se tomaron cinco larvas por repetición todos los días, las mismas, se hirvieron en agua durante dos minutos para prevenir que se pusieran negra. Luego, se transfirieron a un recipiente hermético con alcohol etílico al 70%, previamente etiquetado con la fecha y nombre del tratamiento, esta actividad se realizó diariamente a la 9:00 a.m.

A los siete días de iniciar el experimento se transfirieron las larvas a las bandejas de crianza 1, (bandejas de 97 oz provista de 0.5 kg de sustrato) (Figura 2A), procurando que el sustrato formara una capa de 5 cm de profundidad.

Al día 10, las larvas se transfirieron a las bandejas de crianza 2, (bandejas de 2.5 galones con 1 kg de sustrato) (Figura 2B), en donde se alimentaron cada dos días con 1 kg de alimento hasta el día 20. Luego del día 20, se alimentó cada tres días hasta finalizar el experimento.

Figura 2

Transferencia de larvas a bandejas de crianza utilizadas durante el experimento. (A) Bandeja de 97 oz al día siete; (B) Bandejas de 2.5 galón al día 10.



La toma de datos se realizó hasta el día en que los tratamientos presentaban 75% de larvas migratorias.

Tratamiento de los Residuos Suministrados

Se determinó la humedad de cada sustrato antes de la alimentación. Los residuos del comedor se caracterizaron antes de la alimentación, identificando su contenido y separándolo de los residuos inorgánicos (bolsas, papeles, plásticos). El estiércol de vaca se recolectó del módulo de Ganado Lechero de Zamorano y estiércol de cerdo se obtuvo de la granja porcina de la institución, los mismo se recolectaron hora antes para asegurar que tuvieran lo más fresco posible (< 1 día). El

comportamiento de las larvas en los sustratos fue descrito diariamente para cada tratamiento observando, la consistencia y consumo del sustrato y la actividad de las larvas en estos.

Variables a Medir

Ancho de la Cápsula Cefálica

Esta se midió en vista dorsal, utilizando un pie de rey con una precisión de (0.02 mm), los estadios fueron divididos según los intervalos de medida.

Peso

A partir del día siete las larvas fueron pesadas individualmente en una balanza U.S. Solid con precisión de 0.001 g, hasta el final del ciclo larval de cada tratamiento.

Longitud de Larva

Se utilizó un pie de rey para tomar la medida de la larva en posición dorsal, tomando en cuenta que no estuviera doblada o encorvada.

Duración de la Etapa Larval

Esta se realizó tomando en cuenta los días que tardaron las larvas para completar el ciclo, desde la eclosión de los huevos hasta la etapa de larvas migratorias, este es esencial para determinar el índice de reducción de residuos.

Porcentaje de Reducción de Residuos

Para estimar el porcentaje se procedió a utilizar la Ecuación 1.

$$PR = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100 \quad [1]$$

Donde;

PR= Porcentaje de reducción.

W1= Peso inicial del sustrato.

W2= Peso final del sustrato.

Porcentaje de Bioconversión de Masa

Este se estimó haciendo uso de la Ecuación 3, cabe destacar que se utilizó el peso húmedo de las larvas para llevar a cabo los cálculos y determinar el porcentaje de bioconversión de masa.

$$PBC = \frac{W_2}{W_1} \times 100 \quad [3]$$

Donde;

PBC= porcentaje de bioconversión.

W2= peso final de las larvas.

W1= peso inicial del sustrato.

Análisis Estadístico

Se realizó un análisis de varianza y separación de medias por el método Duncan a una significancia de probabilidad ≤ 0.05 a las variables ancho de la cápsula cefálica, peso y longitud de las larvas. Los datos se analizaron utilizando el programa "Statistical Analysis Systems" (SAS® 2013), versión 9.4. Además, se realizó una prueba de normalidad por medio del método del tercer y el primer cuartil de las mismas variables, también se realizó un análisis de correlación entre el peso y la longitud de las larvas y otra correlación para el ancho de la cápsula cefálica y el peso de larvas.

Resultados y Discusión

Ancho de la Cápsula Cefálica y Estadios de las Larvas

Los datos para estimar el ancho de la cápsula cefálica (la cual indica el cambio de estadio por medio de las mudas) se tomaron a partir del tercer día de eclosionar las larvas hasta el momento en que los recipientes presentaban el 75% de larvas migratorias, mismo día en el que se cosecharon. Las larvas alimentadas con residuos del Comedor Doris Stone mostraron la medida más alta de la cápsula cefálica con 1.18 mm al día 23 de alimentación, seguido del tratamiento con estiércol de cerdo con 1.00 mm a los 21 días de alimentación. Los tratamientos estiércol de vaca y mezcla 1:1 de estiércol de vaca y cerdo obtuvieron la medida más baja del experimento con un valor de 0.96 mm sin diferencias significativa entre ambos (Cuadro 1), pero con diferente tiempo de duración, de 18 y 31 días de alimentación respectivamente. Aunque los valores son diferentes para algunos tratamientos debido a la diferencia de la composición nutricional entre los residuos, el ancho de la cápsula cefálica sigue el mismo comportamiento de crecimiento en todos los tratamientos.

Cuadro 1

Ancho (mm) de la cápsula cefálica de las larvas de Hermetia illucens alimentadas con diferentes dietas tomada al día de cosecha de las larvas (75% de migración en bandejas).

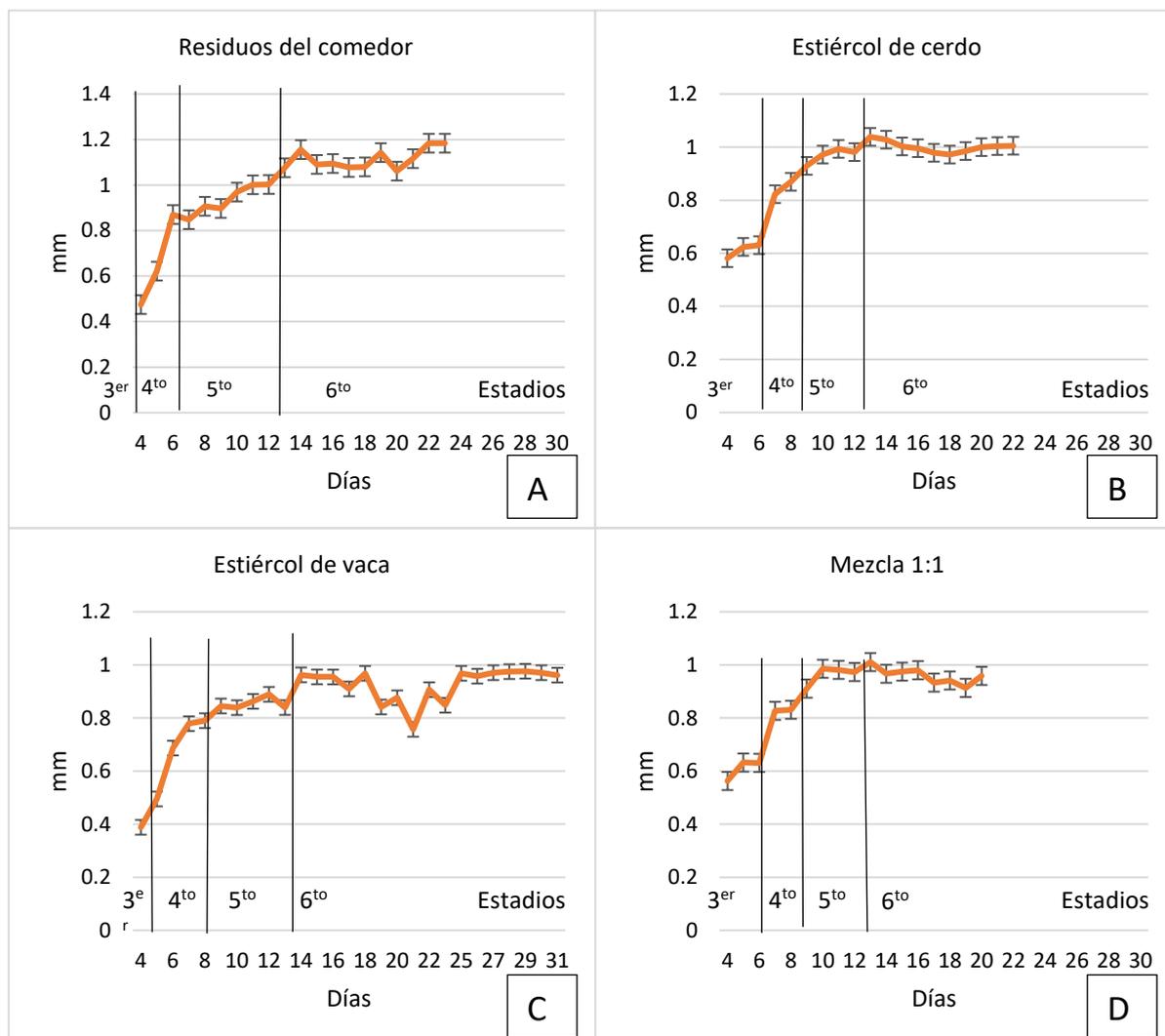
Tratamiento	Medía ± D.E
Residuos del Comedor Doris Stone	1.18 ± 0.028 ^a
Estiércol de cerdo	1.00 ± 0.002 ^b
1 estiércol de cerdo:1 estiércol de vaca	0.96 ± 0.002 ^c
Estiércol de vaca	0.96 ± 0.01 ^c
CV %	9.07
R ²	0.98
Probabilidad	0.0001

Nota. ^{a-c}= Letras diferentes dentro de la misma columna indican que hay diferencias entre tratamientos (P < 0.05). CV: Coeficiente de Variación, D.E: Desviación Estándar.

Según Glicorescu *et al.* (2019) utilizando dieta Gainesville (50% salvado de trigo, 30 % de heno de alfalfa y 20% de maíz) como medio de producción para 500 larvas por tratamiento, la cápsula cefálica crece rápidamente en los primeros días de vida hasta el quinto estadio. Este crecimiento de las larvas estará en función del alimento o sustrato del que se estén nutriendo, luego las larvas siguen un comportamiento con tendencia lineal para el resto de los días de desarrollo, a partir del quinto estadio entre el día cinco y siete (Figura 3).

Figura 3

Ancho de la cápsula cefálica de las larvas de *Hermetia illucens* alimentadas con diferentes dietas (mm). (A): Ancho de la cápsula cefálica de las larvas en los residuos del Comedor Doris Stone, (B): Ancho de la cápsula cefálica de las larvas del estiércol de cerdo, (C): Ancho de la cápsula cefálica en las larvas del estiércol de vaca, (D): Ancho de la cápsula de las larvas en la mezcla 1:1.



Debido a que las larvas eran muy pequeñas en los primeros días para tomar las medidas, los datos del ancho de la cápsula cefálica se tomaron a partir del día tres después de la eclosión de huevos, utilizando Gligorescu *et al.* (2019) (Figura 3) como referencia para identificar los diferentes estadios de acuerdo al ancho de la cápsula cefálica. Estos datos muestran que, a partir del día tres hasta la

etapa de larva migratoria, las larvas de cada sustrato se encontraron en su cuarto a cinco estadios, donde las larvas de los residuos del Comedor Doris Stone presentaron cuarto estadio en los días evaluados, con un tercer estadio que culmina el día cuatro, con 0.62mm. Un cuarto estadio sucede entre el día cuatro y seis con medidas entre 0.63 mm a 0.84 mm; igual es notorio el cambio para el quinto estadio presentándose entre el día seis hasta día 13 con una cápsula de 0.85 mm hasta 1.07 mm de ancho, lo mismo sucede para el sexto estadio que tiene lugar del día 13 al día 24 donde el crecimiento se mantiene más lineal con una medida 1.08 mm a 1.18 mm (Anexo A).

Para el estiércol de cerdo el comportamiento de las larvas fue muy similar presentando también cuatros estadios durante el ciclo larval; el tercer estadio a diferencia del de los residuos del Comedor Doris Stone termina al día cinco con 0.62 mm, posteriormente se encuentra el cuarto estadio teniendo lugar entre el día cinco y el día nueve con anchura de 0.64 mm a 0.92 mm, el quinto estadio sucede entre los días nueve y 13 con medida desde 0.93 a 1.00 mm finalmente el sexto estadio ocurre desde el día 13 hasta el día 22 desde 1.01 mm a 1.04 mm (Figura 3 y Anexo A).

Por otro lado, en el estiércol de vaca el tercer estadio culmina igual que el estiércol de cerdo al día cinco con una cápsula cefálica de 0.68 mm, el cuarto estadio se presentó entre e día cinco y el día ocho y va desde 0.69 mm a 0.79 mm, así mismo el quinto lugar se diferenció a partir del día ocho hasta el día 13 con una medida 0.80 mm hasta 0.88 mm y por último el sexto estadio que va desde 0.89 mm a 0.97 mm desde el día 13 al día 31 (Figura 3 y Anexo A).

La mezcla 1:1 de estiércol de vaca y estiércol de cerdo presentó claramente cuatros estadios, al igual que los estiércoles el tercer estadio culminó al día seis con cápsula cefálica de 0.56 mm, el cuarto estadio sucedió brevemente igual que al anterior entre los días seis y nueve con medía de 0.57 mm a 0.83 mm, luego a este el quinto estadio ocurrió entre el día nueve y el día 13 desde 0.84 mm a 0.97 mm, finalmente el sexto estadio se dio desde el 13 al día 20 desde 0.98 mm a 1.01 mm (Figura 3 y Anexo A y B).

La cápsula cefálica se ensancha cada vez que la larva muda y todas las mudas antes del sexto y séptimo estadio conducen a un crecimiento de la cápsula cefálica, las diferencias entre el sexto y séptimo estadio están definidas la reducción de los maxilares y una muda que no se desprende de la larva Gligorescu *et al.* (2019). Los resultados del ancho de la cápsula cefálica obtenidos en la gráfica de Gligorescu *et al.* (2019) al último día de su experimento (1-1.1 mm) son bastante similares a los obtenidos con el tratamiento con residuos del Comedor Doris Stone, (1-1.2 mm) para el sexto estadio, pero no así, para los demás tratamientos de este estudio (Figura 3). Debido a esto la duración de cada estadio de un experimento no puede ser utilizado como regla para determinar el estadio de las larvas, al menos que se encuentren bajo condiciones climáticas, alimenticias y de manejo similares.

Peso por Larva

La toma de los pesos se realizó a partir del día tres, debido al pequeño tamaño de estas en los primeros días y la dificultad de realizar las mediciones. El peso final de las larvas se tomó al momento en que estas entraban en la etapa de larva migratoria. La mayor ganancia de peso se presentó en el tratamiento con residuos del Comedor Doris Stone con una media de 0.255 g por larva a los 24 días de alimentación, seguido por el tratamiento con estiércol de cerdo, con 0.140 g a los 22 días de alimentación con residuos; el tratamiento con la mezcla 1:1 obtuvo una media de 0.094 g a los 20 días de alimentación y finalmente con el peso más bajo, el tratamiento con estiércol de vaca con una media de 0.060 g a los 31 días de alimentación (Cuadro 2 y Figura 4).

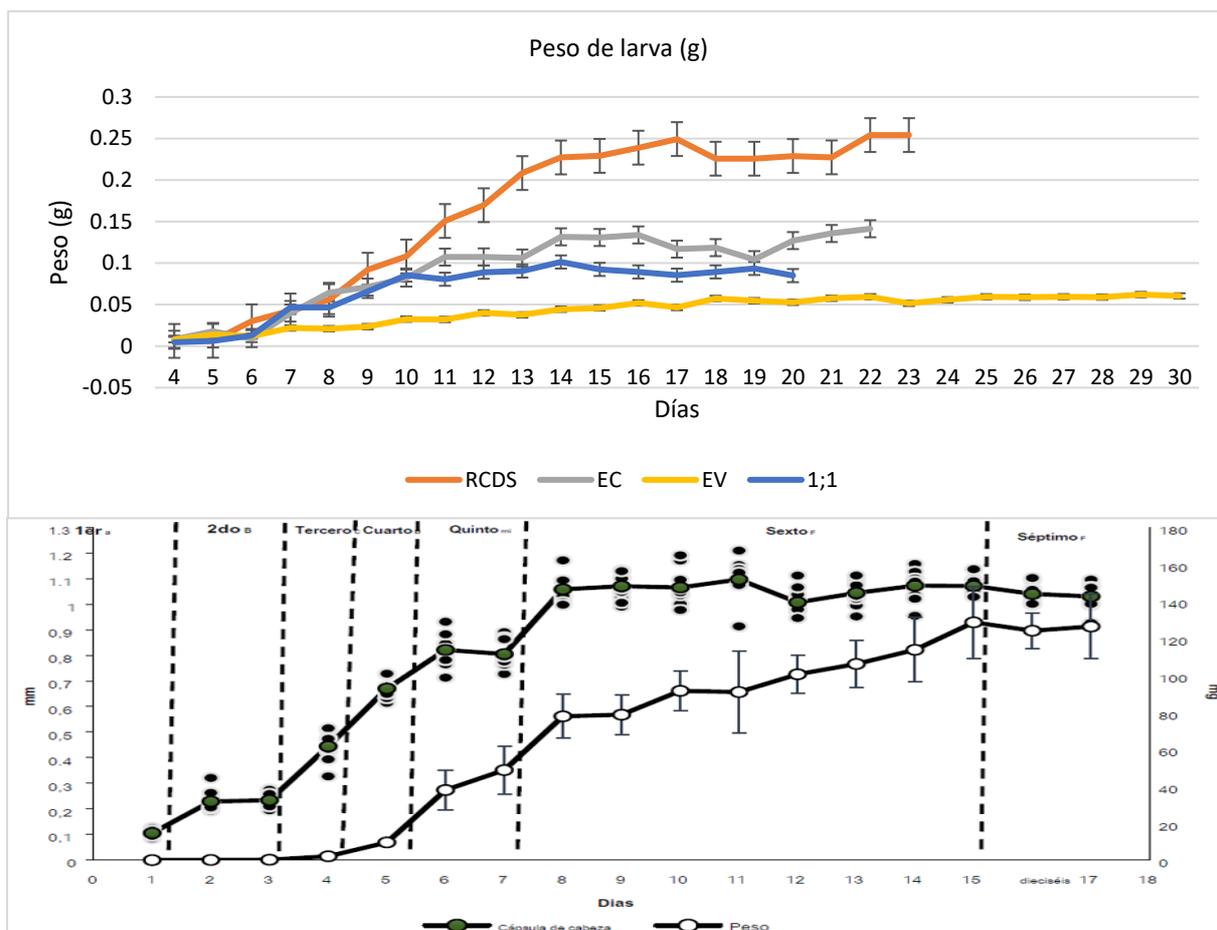
Cuadro 2

Comparación del Peso de las larvas (g) según el estadio larval en el que se encuentran .

Estadios	Peso Comedor	Estiércol de cerdo	Estiércol de vaca	Mezcla 1:1
3er estadio	___-0.006	___-0.017	___-0.007	___-0.012
4er estadio	0.006-0.020	0.017-0.012	0.007-0.012	0.012-0.04
5er estadio	0.020-0.16	0.012-0.04	0.012-0.03	0.04-0.05
6er estadio	0.16-0.25	0.04-0.050	0.03-0.06	0.05-0.1
CV				7.95
R ²				0.81
Probabilidad				0.0001

Figura 4

Grafica comparativa de peso entre los tratamientos (g). RCDS= residuos del Comedor Doris Stone, EC=estiércol de cerdo, EV=estiércol de vaca 1:1= Mezcla 1;1 estiércol de cerdo; estiércol de vaca.



Nota. Tomado de Gligorescu et al. (2019)

Conocer el peso de las larvas a través de un estadio podría ser una forma indirecta para determinar los estadios, aunque bien esto solo funcionaría en las larvas que se alimenten con residuos donde ya se halla establecido la media de peso para cada estadio. Los diferentes pesos por estadios en cada uno de los tratamientos pueden ser observados en el (Cuadro 3). Al momento de culminar el tercer estadio el tratamiento con residuos del comedor Doris Stone la media del peso por larva oscilaba entre 0.006 g, el cuarto estadio desde 0.006 g a 0.020 g, luego el quinto estadio con peso de 0.021 g a 0.16 g y el sexto estadio desde 0.16 g a 0.25 g. Mientras que el estiércol de cerdo para al terminar el tercer estadio tenía 0.017 g, el cuarto estadio tenía peso de 0.017 g a 0.04 g, después de este el quinto estadio presentó un peso entre 0.04 g a 0.08 g, y el sexto estadio con peso desde 0.08 g a 0.14 g. El estiércol de vaca en los últimos días del tercer estadio presentó un peso de 0.007 g, seguido a este, el cuarto estadio presentó peso entre 0.007 g a 0.012 g, el quinto estadio obtuvo peso de 0.012 g hasta 0.03 g, y el sexto estadio tuvo un peso de 0.03 g a 0.06 g. La mezcla 1:1 de estiércol de cerdo: estiércol de vaca presentó un peso de 0.012 g para completar el tercer estadio, el cuarto estadio con peso de 0.012 g a 0.04 g, después el quinto estadio con medida de 0.040 g a 0.050 finalmente el sexto estadio con valor de 0.050 g a 0.1 g (Anexo C). Las diferencias al primer día entre los residuos del Comedor Doris Stone y los demás tratamientos en el tercer estadio pueden ser dadas por el tamaño de las partículas de los residuos, los cuales eran mucho mayores a los estiércol y para ese entonces las larvas tenían un tamaño bastante pequeño.

Cuadro 3

Peso por larvas (g) al día de cosecha (75% de larvas migratorias en las bandejas).

Tratamiento	Medía ± D.E	Días
Residuo del Comedor Doris Stone	0.255 ± 0.017 ^a	24
Estiércol de cerdo	0.140 ± 0.061 ^b	22
Mezcla 1:1	0.094 ± 0.005 ^c	20
Estiércol de vaca	0.060 ± 0.006 ^d	31
CV	7.51	0.00
R ²	0.99	1.00
Probabilidad	0.0001	0.0001

Nota. ^{a-d}= Letras diferentes dentro de la misma columna indican que hay diferencias entre tratamientos. CV: Coeficiente de Variación, D.E:

Desviación Estándar.

Respecto a los resultados del peso medio de las larvas obtenidos al final del experimento (0.255 g a los 24 días), para lo residuos del comedor, se asemejan con los resultados de Srikanth y Deshmukh (2021b), los que obtuvieron una media de 0.22 g a los 24 días en larvas alimentadas con residuos de alimentos. Los datos de este estudio también concuerdan con los resultados obtenidos por El-Dakar *et al.* (2021), donde el mayor valor lo obtuvo los residuos alimenticios con valor de 0.218 g, para residuos alimenticios y 0.200 g, para el estiércol de cerdo

Según Power y Burns (2007) el bajo peso de las larvas alimentadas con estiércol es debido al contenido de celulosa y lignina que se encuentran en este tipo de residuos. El-Dakar *et al.* (2021); Gold *et al.* (2018) sostienen que, las larvas de *H. illucens* no pueden digerir totalmente estos compuestos (celulosa y lignina), ya que, para que su descomposición resulte exitosa el estiércol debe ser previamente tratado con microorganismos. El contenido de estos compuestos, así como el de la hemicelulosa y la fibra, son diferentes para el estiércol de cerdo y el estiércol de vaca siendo mayor para este último, ya que las vacas tienen un estómago especializado para digerir estos nutrientes y su dieta está prácticamente basada en estos. Al contrario el estómago de los cerdos no es eficiente absorbiendo estos nutrientes, incluso los mismo aceleran el metabolismo de los cerdos afectando negativamente el índice de conversión alimenticia de los mismos (Campabadai 2009). Siendo que los contenidos de nutrientes como fibras, ligninas celulosa y hemicelulosa suelen ser mayor en la dieta

de las vacas que en los cerdos, también lo será en el estiércol de las vacas, lo que puede ser una de la causa principal de las diferencias entre el peso de las larvas del estiércol de cerdo y las larvas del estiércol de vaca.

Longitud de la Larva

En este estudio se tomó la longitud de las larvas para determinar la influencia de esta en la producción de biomasa, la cual muestra una fuerte correlación positiva con el peso, ya que a más largas sean las larvas tendrán más peso y por ende más biomasa (Cuadro 4).

Cuadro 4

Correlación entre el peso de las larvas y longitud de las larvas aplicando coeficiente de correlación de Pearson.

VARIABLES	COEFICIENTE DE CORRELACIÓN	PROBABILIDAD
Longitud de larva	0.89	< 0.0001

Al final del estudio las larvas alimentadas con residuos del Comedor Doris Stone obtuvieron una longitud de 22.78 mm al día 23 del tratamiento, la cual fue mayor a los demás tratamientos, seguido del tratamiento estiércol de cerdos, con un valor de 19.41 mm a los 21 días de alimentación. Los valores más bajos fueron del 50%-EC;50%-EV y el estiércol de vaca con valores de 16.73 mm al día 19 y 16.60 mm al día 31, respectivamente, los cuales no presentaron diferencia estadística en función de longitud, pero no del tiempo de desarrollo; las lavas alimentadas con la mezcla 1:1 alcanzan la misma longitud que las larvas del estiércol de vaca en mucho menor tiempo de desarrollo (Cuadro 5 y Figura 5).

Cuadro 5

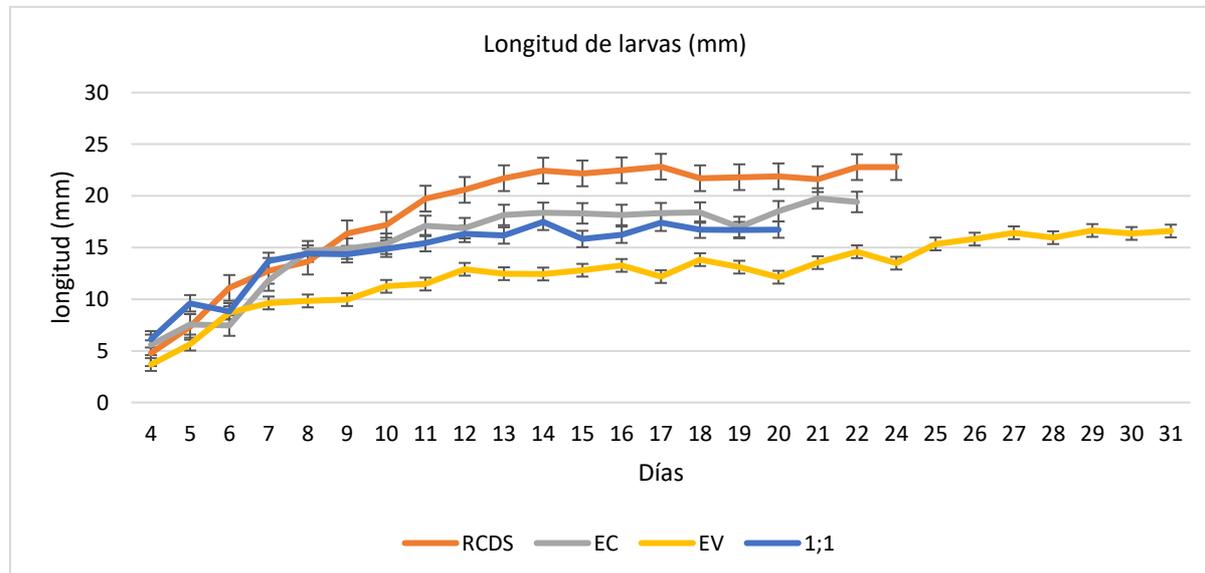
Longitud por larva (mm) al día de cosecha (75% de migración en bandejas).

Tratamiento	Medía ± D.E
Residuo del Comedor Doris Stone	22.78 ± 0.43 ^a
Estiércol de cerdo	19.41 ± 0.63 ^b
Mezcla 1:1	16.73 ± 0.22 ^c
Estiércol de vaca	16.60 ± 0.44 ^c
CV	10.24
R ²	0.98
Probabilidad	0.0001

Nota. ^{a-c}= Letras diferentes dentro de la misma columna indican que hay diferencias entre tratamientos. CV: Coeficiente de Variación, D.E: Desviación Estándar.

Figura 5

Gráfica comparativa de longitud entre los tratamientos a lo largo del ciclo (mm). RCDS= residuos del Comedor Doris Stone, EC=estiércol de cerdo, EV=estiércol de vaca 1;1= Mezcla 1:1 estiércol de cerdo; estiércol de vaca.



Al comparar el comportamiento del crecimiento larval en los diferentes residuos se puede observar, que las larvas tienen un crecimiento continuo hasta el día 17 siendo más notable este comportamiento en los residuos del comedor (Anexo D). Aunque con frecuencia se suele utilizar la

longitud de la larva para determinar la edad de larvas de distintas especies esta es conocida por no ser muy precisa (Greenberg 1991; Gobbi 2012). Muestra de esta falta de precisión se puede observar en Barros (2019) donde se utilizó la longitud de la larva y el ancho de la cápsula cefálica para determinar la edad de las larvas, reportando larvas con la misma longitud que podrían estar entre el cuarto, quinto, o sexto estadio.

Duración Total del Ciclo Larval

La duración del ciclo larval es uno de los parámetros más afectado por el tipo de sustrato con el que se alimentan las larvas debido, principalmente, a que las larvas tardarán más en adquirir la grasa corporal necesaria y completar su desarrollo si los únicos recursos que tienen son dietas bajas en grasa y nutrientes (Nguyen et al. 2013). Los días donde las larvas estaban en el pie de cría (3 días) también se tomaron en cuenta para determinar el tiempo total de desarrollo de las larvas.

En este estudio el ciclo más corto lo obtuvo el tratamiento de la mezcla 1:1 de estiércol de vaca y estiércol de cerdo (20 días), seguido de los tratamientos estiércol de cerdo y Residuos del Comedor Doris Stone (22 y 24 días respectivamente) sin diferencias estadística entre ellos; la duración mayor fue en el tratamiento con estiércol de vaca (31 días) (Cuadro 6).

Cuadro 6

Duración (días) que tardan las larvas para la descomposición de los residuos.

Tratamiento	Medía ± D.E
Estiércol de vaca	31.00 ± 0.0 ^a
Residuos del Comedor Doris Stone	24.00 ± 0.0 ^b
Estiércol de cerdo	22.00 ± 0.0 ^{bc}
Mezcla 1:1	20.00 ± 0.0 ^c
CV	0.00
R ²	1.00
Probabilidad	0.0001

Nota. ^{a-c}= Letras diferentes dentro de la misma columna indican que hay diferencias entre tratamientos. CV: Coeficiente de Variación, D.E:

Desviación Estándar.

El hecho de que las larvas de la mezcla 1:1 tuviera un ciclo larval más corto es indicador de que la concentración y la calidad de nutrientes es mayor en este, pues, aunque en este estudio no se

realizaron análisis químico a los residuos para determinar la composición nutricional de los mismo, Avalos (2014), reporta que el estiércol de cerdo es muy rico en nutrientes y aminoácidos como lisina, leucina y treonina. Esto junto a otros posibles aminoácidos en el estiércol de vaca hace que la mezcla parezca más eficiente en calidad nutritiva. Hay que considerar que los residuos del Comedor Doris Stone no fueron triturados, por lo que el tamaño de las partículas era mucho más grande en comparación que los estiércoles, haciendo más difícil la alimentación por parte de las larvas y provocando que se alargara el ciclo de desarrollo.

Los resultados de la investigación contrastan con los datos obtenidos por El-Dakar *et al.* (2021), donde el estiércol de cerdo tuvo la duración más alta del estudio con una media de 36 días, siendo superada únicamente por el estiércol de caballo con una media de 42 días, estos se prologaron debido al alto contenido de fibra de los mismos. Esto puede ser por la diferencia de las dietas entre la alimentación de las granjas, ya que cada una tiene sus propias dietas en dependencia de su objetivo de producción y los recursos de estas.

Otra contribución al estudio del comportamiento larval en función de su nutrición fue realizada por Barragan-Fonseca *et al.* (2018), al aplicar tres niveles de nutrición con dietas para pollos diluidas con celulosas reportaron que la concentración de nutrientes afecta el rendimiento de *H. illucens* y su composición corporal, viéndose más afectado a mayor porcentaje de celulosa. Los datos de Barragan-Fonseca *et al.* (2019) mostraron una mayor duración en el ciclo larval para aquellas con limitaciones más altas en nutrientes (45 días), no así, para la que tenían mayor contenido nutritivo, las cuales lograron alcanzar la etapa de larvas migratorias en los 16 a 27 días.

Porcentaje de Reducción de Residuos

El tratamiento con estiércol de vaca tuvo el mayor porcentaje de reducción de residuos (89.17%), pero este se presentó en un tiempo mayor de alimentación (7 días más) que los demás tratamientos. Los residuos del comedor obtuvieron un porcentaje de reducción de residuos de 82.86%

en 21 días, mientras que el estiércol de cerdo obtuvo un valor de 76.89% en 19 días. El valor más bajo lo obtuvo la mezcla 1:1 con 62.50 %, en un tiempo de 17 días (Cuadro 7).

Cuadro 7

Porcentaje de reducción de los residuos (%).

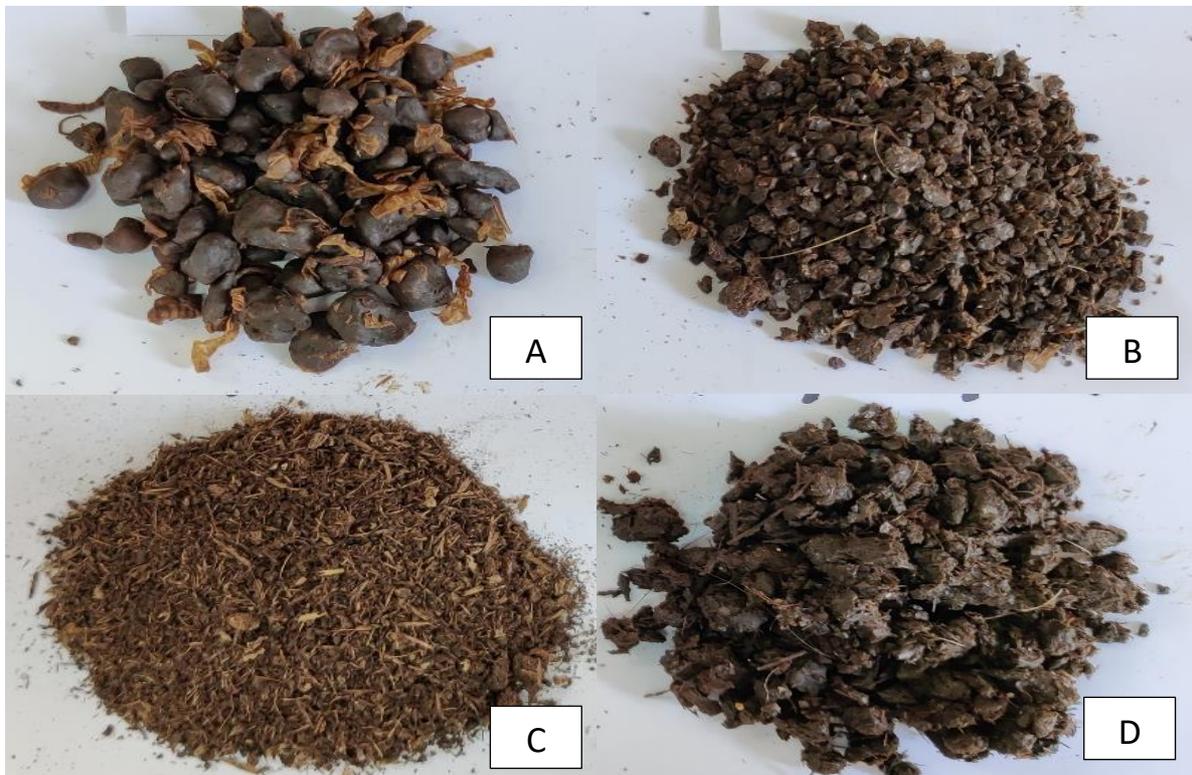
Tratamiento	Medía ±
Estiércol de vaca	89.17 ± 0.36 ^a
Residuos del Comedor Doris Stone	82.86 ± 0.48 ^b
Estiércol de cerdo	76.39 ± 0.89 ^c
Mezcla 1:1	62.50 ± 0.00 ^d
CV	0.37
R ²	1.00
Probabilidad	0.0001

Nota. ^{a-d}= Letras diferentes dentro de la misma columna indican que hay diferencias entre tratamientos. CV: Coeficiente de Variación, D.E: Desviación Estándar.

Esto no quiere decir que *H. illucens* sea mejor para descomponer estiércol de vaca que para los otros residuos, pues si bien el porcentaje de reducción es mayor también lo es el tiempo que tarda para descomponer dicho residuo. Además de la reducción de los residuos y estiércol se puede notar una reducción significativa en el porcentaje de humedad de estos, donde la mezcla 1:1 obtuvo el porcentaje de reducción de humedad más alto 77.46%, seguido a este el estiércol de vaca, el estiércol de cerdo y por último los residuos del Comedor Doris Stone con 71.52%, 70.45% y 62.20% respectivamente (Figura 6).

Figura 6

Estructura de los residuos de las larvas, al final del ciclo larval. (A): residuos del Comedor Doris Stone, (B): estiércol de cerdo, (C): estiércol de vaca, (D): mezcla 1:1.



El porcentaje de reducción de humedad es la humedad del sustrato que se ha reducido en el proceso de alimentación de las larvas, provocado por principalmente por la actividad de las larvas, para calcularlo se restó el porcentaje de humedad final al porcentaje de humedad inicial del sustrato. Para calcular el porcentaje de En relación al tiempo y el porcentaje de reducción de los residuos, las larvas de *Hermetia illucens* descomponen mejor la mezcla de sustrato, que los mismos sustratos de manera individual. La reducción de los residuos y la humedad del mismo está influenciada por la cantidad de larvas que exista en el mismo (Miranda et al. 2020), esto es debido a que la actividad de las larvas produce que se eleve la temperatura del sustrato, haciendo que la humedad del mismo se reduzca.

Las diferencias entre el porcentaje de reducción de residuos entre los tratamientos del estiércol de vaca y el estiércol de cerdo (23%) se asemejan a las reportadas por Miranda *et al.* (2019) entre estos mismo estiércoles (19%) con la diferencia de que en su estudio el porcentaje de reducción se realizó en base a la materia seca de los residuos, mientras que en este estudio se usó el peso fresco de los residuos.

Una de las posibles causas que puede afectar el porcentaje de reducción de desechos es la cantidad de larvas dentro del mismo, por lo que, se decidió estimar la cantidad de las larvas al final de cada tratamiento. Para llevar a cabo esta actividad se usó el peso final por larvas y el peso obtenido de todas las larvas, se estimó la cantidad de larvas al final de cada tratamiento, dando como resultado: 7,874 larvas para la mezcla 1:1, seguido del estiércol de cerdo con 6,952 larvas, el estiércol de vaca con 4,966 larvas y por último los residuos del Comedor Doris Stone con 4,300 larvas.

Aunque si bien los residuos del Comedor Doris Stone y el estiércol de vaca tienen la cantidad más baja de larvas, el hecho de que obtuvieran los porcentajes de reducción más alto, se puede justificar para el estiércol de vaca debido a que las larvas duraron más tiempo alimentándose del residuo. En el caso de los residuos del comedor, Nguyen *et al.* (2013) encontraron que las larvas tienen una alta preferencia por los residuos alimenticios debido a su contenido de grasas y calorías, lo cual se pudo observar en el transcurso del estudio, donde la actividad de las larvas de este tratamiento era mayor a los demás.

En cuanto a la diferencia en la mortalidad de las larvas en los tratamientos, se asume que la mortalidad fue la misma para todos los tratamientos en los primeros tres días, puesto que tenían el mismo tipo de sustrato (pie de cría) para todos hasta este día. Por lo que las diferencias entre la cantidad de larvas obtenidas, se asume son debidas al tipo de sustrato suministrado, sin embargo, al no realizar estudios de la composición nutricional de los residuos, no se puede determinar qué tipo de componente o sustancia influir en la mortalidad de las larvas.

Los datos obtenidos en el presente estudio difieren con los reportados por Alonzo y Hernández (2019) quienes realizaron el levantamiento de la colonia del Laboratorio de Entomología de Zamorano. Estos reportaron un porcentaje de reducción de 31.21 para el residuo del Comedor Doris Stone y 7.33% para el estiércol de cerdo. Las diferencias entre ambos estudios pueden ser generadas por las diferencias en los tiempos, ya que, los datos para su experimento se tomaron hasta el día 9 del mismo y el del presente estudio hasta la presencia del 75% de larvas migratorias, con una variación de 16 a 35 días dependiendo del tipo de alimentación de las larvas.

Fadhillah y Bagastyo (2020) alimentaron 300 larvas por 12 días con una tasa de alimentación de 20 mg/larva/día, utilizando cuatro tipo de residuos (residuos alimenticios, estiércol de vaca, residuos de compostaje, material de compostaje inmaduro). El porcentaje de reducción de dicha investigación para el estiércol de vaca fue de 17.07% y de 66.94% para residuos de alimentos, contrastando con los datos obtenidos en este estudio.

Los contrastes entre experimentos pueden ser debido a la diferencia de la composición nutricional entre los residuos usados para cada estudio, aunque son los mismo habrá diferencias ya que no provienen del mismo lugar y posiblemente haya diferencias entre los alimentos que originan los residuos.

Porcentaje de Bioconversión de Masa

El tratamiento con mayor porcentaje de bioconversión fue el tratamiento con residuos del Comedor Doris Stone con 15.71%, seguido del estiércol de cerdo, el cual presento un porcentaje de 14.44%, por último, se encuentran las mezclas de estiércol y el estiércol de vaca, con 11.11 y 3.75 %, respectivamente (Cuadro 8; Figura 7 y 8). Basados en la cantidad de larvas en cada tratamiento al final del estudio y el porcentaje de bioconversión de masa, las larvas de *H. illucens* son más eficiente produciendo biomasa a partir de los residuos del Comedor Doris Stone que de estiércol (Anexo E). Alonzo y Hernández (2019) reportaron valores cercanos a los datos de esta investigación para los residuos del Comedor Doris Stone se obtuvo un valor de 13.15%, no así para el estiércol de cerdo el

cual muestra contraste con este estudio ya que su porcentaje fue de 3.76%, bastante bajo en comparación con el presente. Estas discrepancias pueden ser debida a la diferencia del tiempo en que se tomaron los datos en ambos estudios, ya que como se mencionó anteriormente su estudio se evaluó durante 9 días, mientras que el presente hasta la etapa de migración (día de cosecha de las larvas) siendo diferente para cada tratamiento.

Cuadro 8

Porcentaje de bioconversión de masa.

Tratamiento	Medía ± D.E
Residuos del Comedor Doris Stone	15.71 ± 0.00 ^a
Estiércol de cerdo	14.44 ± 0.48 ^b
Mezcla 1:1	11.11 ± 0.48 ^c
Estiércol de vaca	3.75 ± 0.00 ^d
CV	3.06
R ²	1.00
Probabilidad	0.0001

Nota. ^{a-b=} Letras diferentes dentro de la misma columna indican que hay diferencias entre tratamientos. CV: Coeficiente de Variación, D.E: Desviación Estándar.

Figura 7

Grafica comparativa de porcentaje de bioconversión. RCDS: Residuos del Comedor Doris Stone, EC: estiércol de cerdo, 50%-EC,50%-EV: mezcla 1:1 estiércol de cerdo-estiércol de vaca, EV: estiércol de vaca.

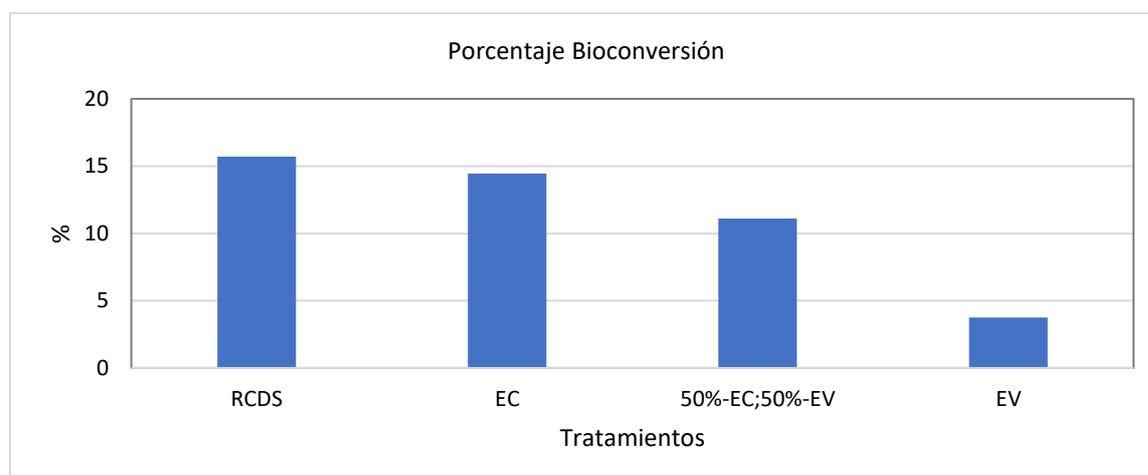


Figura 8

Muestra de larvas al final del experimento. T1: residuos del Comedor Doris Stone, T2: estiércol de cerdo T3: estiércol de vaca T4: mezcla 1:1 estiércol de cerdo; estiércol de vaca.



Los resultados de Srikanth y Desmukh (2021) también muestran diferencias en los porcentajes de bioconversión con este estudio, al alimentar larvas con residuos alimenticios y trigo obtuvieron un 12.73% de bioconversión y con vegetales (30% zanahoria, 35% repollo y 35% de pepino) obtuvieron un 21.82% de bioconversión. Las diferencias entre experimentos pueden estar dadas por las variaciones en la alimentación, ya que en el caso de los residuos del Comedor Doris Stone, su contenido nutricional no es constante, debido a la variabilidad de alimentos ofrecidos en el mismo, no así en el estudio de Srikanth y Desmukh (2021) donde el contenido era el mismo todo el tiempo.

Los datos obtenidos en este experimento también contrastan con los reportados por Miranda *et al.* (2019) quienes encontraron porcentaje de bioconversión de 2.1% para el estiércol de cerdo y

2.8% para el estiércol de vaca, siendo los valores de este estudio superior a ambos respectivamente con valores de 14.44% y 3.76% respectivamente. Aunque Miranda *et al.* (2019) no especifican de que edad o etapa son los cerdos de donde proviene su estiércol, esta podría ser una posible causa de las diferencias, ya que, según Campabadai (2009) las necesidades nutritivas y limitaciones de ingredientes en dietas para cerdos son diferentes en cada etapa. Otra posible causa fue el manejo del estiércol, ya que ellos congelaron el estiércol antes de su uso, lo que, según Huang *et al.* (2002) puede ocasionar desnaturalización vitaminas proteínas y aminoácidos.

Prueba de Correlación

Se realizó una prueba de correlación para la variable del ancho de la cápsula cefálica de las larvas y las demás variables, peso, y longitud. Se encontró que la longitud de la larva tiene una correlación positiva con el ancho de la cápsula cefálica a una significancia estadística de ($p \leq 0.05$), donde se muestra que el ancho de la cápsula cefálica y longitud de la larva mantienen una alta relación positiva (0.88), ya que a medida la longitud de las larvas aumenta el ancho de la cápsula cefálica también aumenta. Igual se encontró una correlación positiva entre el peso el ancho de la cápsula cefálica, con una significancia estadística de ($p \leq 0.05$), en donde la correlación es fuerte (0.75) entre las variables y es directamente proporcional, ya que, a medida aumenta el peso aumenta el ancho de la cápsula cefálica (Cuadro 9).

Añada un párrafo corto acá analizando los resultados de la correlación.

Cuadro 9

Correlación entre el ancho de la cápsula cefálica de las larvas y las variables peso y longitud de las larvas aplicando coeficiente de correlación de Pearson.

Variables	Coeficiente de Correlación	Probabilidad
Peso por larva	0.75	< 0.0001
Longitud de larva	0.88	< 0.0001

Conclusiones

El ciclo larval de *H. illucens* es más corto cuando las larvas se alimentan con la mezcla 1:1 estiércol de cerdo-estiércol de vaca, y más largo cuando se utiliza solo estiércol de vaca. El ciclo larval tiende a prolongarse más en el estadio larval cinco y seis de los tratamientos, siendo más notable en el estiércol de vaca.

Según las medidas del ancho de la cápsula cefálica todos los tratamientos presentaron el mismo número de estadios, pero el ancho de la cápsula cefálica, la duración, el peso y la longitud, de las larvas varía en función de la alimentación y calidad de esta. La media para peso, longitud, y ancho de la cápsula cefálica son más alto para los residuos del Comedor Doris Stone. El ancho de la cápsula cefálica al igual que el peso mantiene un comportamiento de crecimiento muy parecido en todos los sustratos.

El tratamiento con residuos del comedor produjo un porcentaje mayor de bioconversión de biomasa, con una cantidad menor de larvas que los demás tratamientos. En cuanto al porcentaje de reducción de desechos el valor más alto lo obtuvo el estiércol de vaca, debido principalmente al que las larvas se alimentaron por más tiempo de este residuo.

Recomendaciones

Replicar el estudio con tecnología de mayor precisión para toma de las medidas del ancho de la cápsula cefálica y el peso, permitiendo evaluar los primeros siete días del experimento y el comportamiento de la alimentación en función de la temperatura.

Realizar estudio más profundo (dos generaciones) analizando la mortalidad de los individuos en todas las etapas, desde la fertilidad del huevo hasta la mortalidad de la larva migratoria y en la segunda generación evaluar la fecundidad, así como, la viabilidad de los huevos de los adultos de la primera generación.

Realizar experimento con estiércol de cerdo, formulando mezclas a diferentes porcentajes de inclusión tanto para los residuos del Comedor Doris Stone, como para otros tipos de estiércol como gallinaza y estiércol de vaca, para evaluar la influencia del estiércol de cerdo en la mortalidad de las larvas.

Referencias

- Alonzo G, Hernández MG. 2019. *Hermetia illucens* (L.) (Diptera: Stratiomyidae) como una alternativa para la producción de proteína y degradación de desechos en Zamorano [Tesis]. Honduras: Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano; [consultado el 9 de ago. de 2021]. <https://bdigital.zamorano.edu/handle/11036/6603>.
- Arroyave S, Oscar J, Chamorro R, Ochoa A. 2019. Crecimiento de larvas de mosca soldado alimentadas con gallinaza, porcínaza y alimento para ponedoras. *Rev Colombiana Cienc Anim. RECIA*. 11(2):730. doi:10.24188/recia.v11.n2.2019.730.
- Avalos A. 2014. Evaluación de tres (3) formas para la fermentación de cerdaza (cerdaza - cerdaza con melaza - cerdaza con forraje y melaza) [Tesis]. Guatemala: Universidad de san carlos de Guatemala.
- Barragan-Fonseca KB, Dicke M, van Loon JJ. 2018. Influence of larval density and dietary nutrient concentration on performance, body protein, and fat contents of black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*). *Entomol Exp Appl*. 166(9):761–770. eng. doi:10.1111/eea.12716.
- Barros LM, Gutjahr ALN, Ferreira-Keppler RL, Martins RT. 2019. Morphological description of the immature stages of *Hermetia illucens* (Linnaeus, 1758) (Diptera: Stratiomyidae). *Microsc Res Tech*. 82(3):178–189. eng. doi:10.1002/jemt.23127.
- Campabadai C. 2009. Guía técnica para alimentación de cerdo. Costa Rica: Imprenta Nacional; [consultado el 20 de jun. de 2021]. <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/L02-7847.PDF>.
- Čičková H, Newton GL, Lacy RC, Kozánek M. 2015. The use of fly larvae for organic waste treatment. *Waste Management*. 35:68–80. eng. doi:10.1016/j.wasman.2014.09.026.
- El-Dakar MA, Ramzy RR, Plath M, Ji H. 2021. Evaluating the impact of bird manure vs. mammal manure on *Hermetia illucens* larvae. *Journal of Cleaner Production*. 278:123570. doi:10.1016/j.jclepro.2020.123570.
- Fadhillah N, Bagastyo AY. 2020. Utilization of *Hermetia illucens* Larvae as A Bioconversion Agent to Reduce Organic Waste. *IOP Conf. Ser.* 506:12005. doi:10.1088/1755-1315/506/1/012005.
- Gligorescu A, Toft S, Hauggaard-Nielsen H, Axelsen JA, Nielsen SA. 2019. Development, growth and metabolic rate of *Hermetia illucens* larvae. *J Appl Entomol*. 143(8):875–881. doi:10.1111/jen.12653.
- Gobbi f. 2012. Biología reproductiva y caracterización morfológica de los estadios larvarios de *Hermetia illucens* (L., 1758) (Diptera: Stratiomyidae). Bases para su producción masiva en Europa [Tesis]. Alicante, España: Universidad de Alicante; [consultado el 29 de nov. de 2020]. <http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/28345>.
- Godfray HCJ, Beddington JR, Crute IR, Haddad L, Lawrence D, Muir JF, Pretty J, Robinson S, Thomas SM, Toulmin C. 2010. Food Security: The Challenge of Feeding 9 Billion People. *Science*. 327(5967):812. doi:10.1126/science.1185383.
- Gold M, Tomberlin JK, Diener S, Zurbrügg C, Mathys A. 2018. Decomposition of biowaste macronutrients, microbes, and chemicals in black soldier fly larval treatment: A review. *Waste Management*. 82:302–318. eng. doi:10.1016/j.wasman.2018.10.022.

- Gomez WL. 2018. Evaluación de un sistema de vermicultura utilizando *Hermetia illucens* y *Tenebrio molitor* para el aprovechamiento de los residuos sólidos generados en la plaza de mercado La Rosita [Tesis]. Bucaramanga: Universidad pontificia Bolivariana; [consultado el 10 de ago. de 2021]. https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/5180/digital_36266.pdf?seque.
- Greenberg B. 1991. Flies as forensic indicators. *J Med Entomol.* 28(5):565–577. eng. doi:10.1093/jmedent/28.5.565.
- Hoc B, Noël G, Carpentier J, Francis F, Caparros Megido R. 2019. Optimization of black soldier fly (*Hermetia illucens*) artificial reproduction. *PLoS One.* 14(4). eng. doi:10.1371/journal.pone.0216160.
- Huang T, Nicodemus J, Zarka DG, Thomashow MF, Wisniewski M, Duman JG. 2002. Expression of an insect (*Dendroides canadensis*) antifreeze protein in *Arabidopsis thaliana* results in a decrease in plant freezing temperature. *Plant Mol Biol.* 50(3):333–344. eng. doi:10.1023/a:1019875922535.
- Lupi D, Savoldelli S, Leonardi MG, Jucker C. 2019. Feeding in the adult of *Hermetia illucens* (Diptera Stratiomyidae): Reality or fiction. *Entomol Acarol Res.* 51(1). doi:10.4081/jear.2019.8046.
- Macavei LI, Benassi G, Stoian V, Maistrello L. 2020. Optimization of *Hermetia illucens* (L.) egg laying under different nutrition and light conditions. *PLoS One.* 15(4). eng. doi:10.1371/journal.pone.0232144.
- Miranda CD, Cammack JA, Tomberlin JK. 2019. Life-History Traits of the Black Soldier Fly, *Hermetia illucens* (L.) (Diptera: Stratiomyidae), Reared on Three Manure Types. *Animals.* 9(5). eng. doi:10.3390/ani9050281.
- Miranda CD, Cammack JA, Tomberlin JK. 2020. Mass Production of the Black Soldier Fly, *Hermetia illucens* (L.), (Diptera: Stratiomyidae) Reared on Three Manure Types. *Animals.* 10(7). eng. doi:10.3390/ani10071243.
- Nguyen TTX, Tomberlin JK, Vanlaerhoven S. 2013. Influence of resources on *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae) larval development. *J Med Entomol.* 50(4):898–906. eng. doi:10.1603/ME12260.
- Pelaez-Samaniego MR, Hummel RL, Liao W, Ma J, Jensen J, Kruger C, Frear C. 2017. Approaches for adding value to anaerobically digested dairy fiber. *Renewable and Sustainable Energy Reviews.* 72:254–268. doi:10.1016/j.rser.2017.01.054.
- Powers WJ, Burns RT. 2007. Energy and nutrient recovery from swine manures [Tesis]. Tennessee: University of Tennessee; [consultado el 10 de ago. de 2021]. <https://porkgateway.org/wp-content/uploads/2015/07/energy-and-nutrient-recovery-for-swine-manure1.pdf>.
- Salas J. 2019. Evaluación de cuatro sustratos orgánicos para la producción de larvas de *Hermetia illucens* (Dípterastratiomyidae) en condiciones controladas de la Irrigación Majes – Pedregal, Caylloma Arequipa [Tesis]. Arequipa-Perú: Universidad nacional de san Agustín de Arequipa, Facultad de Agronomía; [consultado el 22 de nov. de 2020]. <http://bibliotecas.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/10141/AGsaaljm.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Smet J de, Wynants E, Cos P, van Campenhout L. 2018. Microbial Community Dynamics during Rearing of Black Soldier Fly Larvae (*Hermetia illucens*) and Impact on Exploitation Potential. *Appl Environ Microbiol.* 84(9). eng. doi:10.1128/AEM.02722-17.

Srikanth, BH y Deshmukh, Saranabapasa. 2021. Growth performance and bioconversion rate of the soldier fly. *Revista India de Entomología*. 83.

Wang Y-S, Shelomi M. 2017. Review of Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) as Animal Feed and Human Food. *Foods*. 6(10). eng. doi:10.3390/foods6100091.

Anexos

Anexo A

Rango del ancho (mm) de la cápsula cefálica por larva en los tratamientos por estadio larval.

Tratamiento	3er	4to	5to	6to
Residuos del Comedor Doris Stone	__0.62	0.63-0.84	0.85-1.07	1.08-1.18
Estiércol de cerdo	__0.62	0.63-0.92	0.93-1.00	1.01-1.04
1 estiércol de cerdo:1 estiércol de vaca	__0.68	0.69-0.79	0.80-0.88	0.89-0.97
Estiércol de vaca	__0.52	0.57-0.83	0.84-0.97	0.98-1.01
CV %				9.07
R ²				0.98
Probabilidad				0.0001

Anexo B

Ancho (mm) de la cápsula cefálica por larva en los tratamientos en función del tiempo de desarrollo de las larvas.

Días	residuos del comedor Doris Stone	estiércol de cerdo	estiércol de vaca	1:1 estiércol de cerdo y estiércol vaca
1	0.47	0.58	0.39	0.56
2	0.62	0.62	0.49	0.63
3	0.87	0.63	0.69	0.63
4	0.85	0.82	0.78	0.83
5	0.91	0.87	0.79	0.83
6	0.90	0.93	0.85	0.91
7	0.97	0.97	0.84	0.99
8	1.00	0.99	0.86	0.98
9	1.00	0.98	0.89	0.97
10	1.08	1.04	0.84	1.01
11	1.16	1.03	0.96	0.97
12	1.09	1.00	0.96	0.97
13	1.09	1.00	0.95	0.98
14	1.08	0.98	0.91	0.93
15	1.08	0.97	0.97	0.94
16	1.14	0.99	0.84	0.91
17	1.06	1.00	0.88	0.96
18	1.12	1.00	0.76	--
19	1.18	1.01	0.91	--
20	1.18	--	0.85	--
21	--	--	0.97	--
22	--	--	0.96	--
23	--	--	0.97	--
24	--	--	0.97	--
25	--	--	0.98	--
26	--	--	0.97	--
27	--	--	0.96	--

Anexo C

Comportamiento del peso (g) por larva de los tratamientos en función del tiempo de desarrollo.

Días	Residuos del Comedor Doris Stone	Estiércol de cerdo	Estiércol de vaca	1:1 Estiércol de cerdo y estiércol vaca
1	0.006	0.008	0.008	0.005
2	0.006	0.018	0.014	0.006
3	0.030	0.009	0.012	0.013
4	0.043	0.040	0.022	0.046
5	0.056	0.064	0.021	0.046
6	0.092	0.071	0.023	0.066
7	0.108	0.082	0.033	0.086
8	0.151	0.107	0.032	0.081
9	0.170	0.107	0.040	0.089
10	0.208	0.106	0.038	0.090
11	0.227	0.132	0.044	0.101
12	0.229	0.131	0.046	0.092
13	0.239	0.134	0.052	0.089
14	0.249	0.117	0.047	0.085
15	0.226	0.119	0.057	0.089
16	0.226	0.104	0.055	0.094
17	0.229	0.127	0.053	0.085
18	0.227	0.136	0.058	--
19	0.254	0.141	0.059	--
20	0.254	--	0.052	--
21	--	--	0.056	--
22	--	--	0.059	--
23	--	--	0.059	--
24	--	--	0.059	--
25	--	--	0.059	--
26	--	--	0.062	--
27	--	--	0.060	--

Anexo D

Comportamiento de la media de la longitud (mm) de las larvas en los tratamientos en función de tiempo de desarrollo.

Días	Residuos del Comedor Doris Stone	Estiércol de cerdo	Estiércol de vaca	1:1 estiércol de cerdo y estiércol vaca
1	4.77	5.58	3.67	6.12
2	7.32	7.56	5.65	9.60
3	11.09	7.45	8.69	8.83
4	12.74	11.81	9.63	13.71
5	13.63	14.64	9.83	14.41
6	16.37	14.89	9.96	14.35
7	17.19	15.36	11.24	14.88
8	19.73	17.09	11.46	15.42
9	20.58	16.87	12.89	16.32
10	21.71	18.15	12.47	16.17
11	22.44	18.35	12.44	17.48
12	22.17	18.31	12.80	15.83
13	22.48	18.15	13.27	16.24
14	22.82	18.33	12.19	17.39
15	21.71	18.38	13.83	16.72
16	21.81	16.99	13.10	16.68
17	21.89	18.51	12.13	16.73
18	21.61	19.75	13.54	--
19	22.78	19.41	14.59	--
20	22.78	--	13.49	--
21	--	--	15.35	--
22	--	--	15.82	--
23	--	--	16.43	--
24	--	--	15.95	--
25	--	--	16.65	--
26	--	--	16.36	--
27	--	--	16.59	--

Anexo E

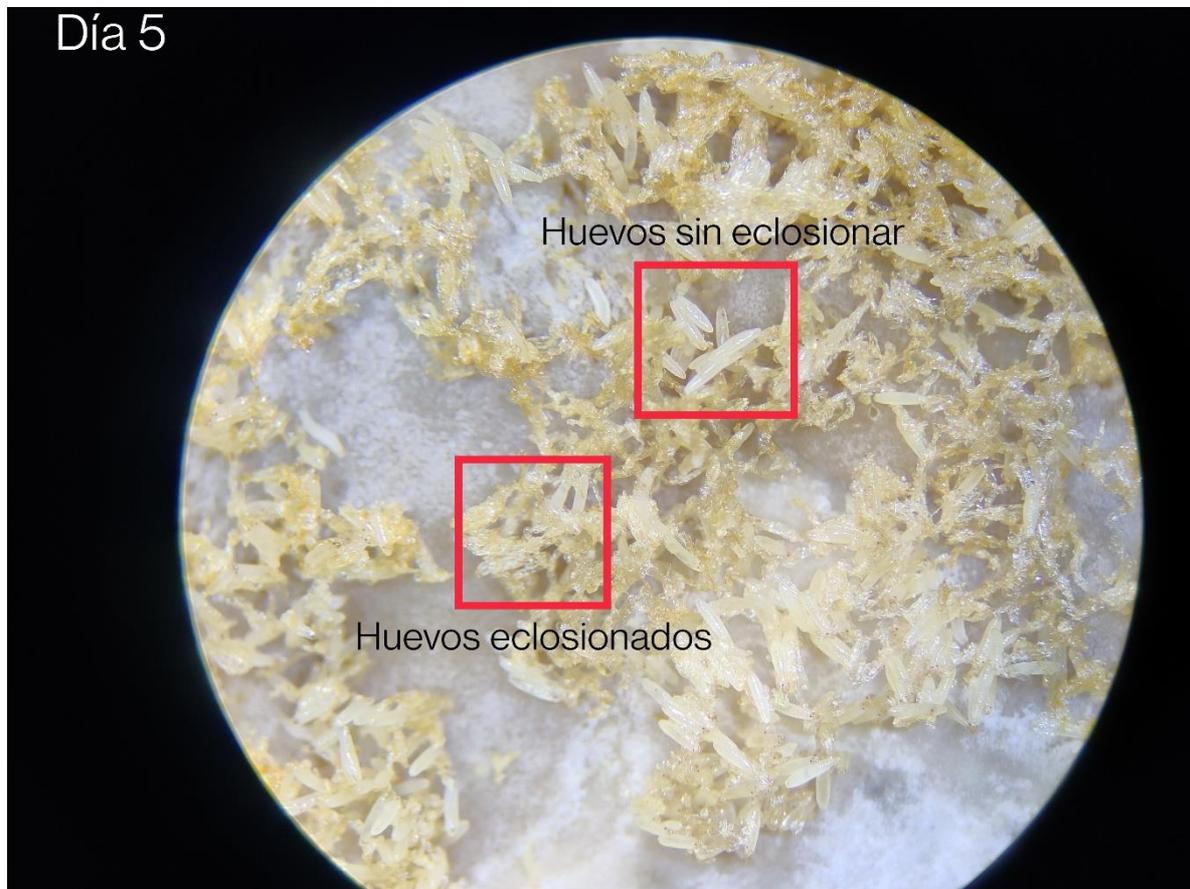
Peso de biomasa (kg) al final de los tratamientos.

TRATAMIENTO	MEDÍA
Residuos del Comedor Doris Stone	1.10 ^a
Estiércol de Cerdo	0.87 ^b
Mezcla 1:1	0.67 ^c
Estiércol de vaca	0.30 ^d
CV	2.78
Probabilidad	0.0001

Nota. ^{a-d}= Letras diferentes dentro de la misma columna indican que hay diferencias entre tratamientos. CV: Coeficiente de Variación.

Anexo F

Eclosión de los huevos de H. illucens al día 5 de los tratamientos.



Anexo G

Cosechas de larvas.

