

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



Proyecto Especial de Graduación
**Establecimiento de una colonia de *Zophobas morio* (Fabricius) como
una alternativa futura de proteína para animales**

Estudiante

Cristian Adonay Leiva Alvarado

Andrea Maria Velázquez Arevalo

Asesores

Jesus Orozco, Ph.D.

Rogelio Trabanino, M.Sc.

Katerin Aguilar, Lcda.

Honduras, agosto 2023

AUTORIDADES

SERGIO ANDRÉS RODRIGUEZ ROYO

Rector

ANA M. MAIER ACOSTA

Vicepresidenta y Decana Académica

CELIA O. TREJO RAMOS

Directora Departamento de Ciencia y Producción Agropecuaria

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
Localización	13
Metodología de Investigación.....	13
Recolección de Insectos	13
Separación de Insectos Inicialmente Recolectados (Parentales).....	14
Preparación de Cajas (Para parentales)	15
Variables y Parámetros Evaluadas	16
Evaluación de la Nueva Generación de Larvas (F1)	16
Tamizado y Clasificación (Población F1)	16
Preparación de Cajas (Población f1)	17
Variables y Parámetros Evaluadas (Población F1)	17
Análisis Bromatológico.....	18
Proceso de Selección y Sacrificio de Larvas	18
Proceso de Secado y Molienda de Larvas	18
Análisis Bromatológico en Laboratorio	19
Resultados y Discusión.....	20
Larvas Fase 2 (Parentales).....	20
Larvas Fase 3 (Parentales).....	21

Pupas (Parentales)	22
Adultos (Parentales).....	23
Nueva Generación de Larvas	24
Larvas Fase 1 y Fase 2 (Población F1)	24
Larvas Fase 3 (Población F1)	25
Curva de Crecimiento de la Larva (Población F1)	26
Ciclo de Vida de <i>Zophobas morio</i>	27
Análisis Bromatológico.....	29
Conclusiones	30
Recomendaciones	31
Referencias.....	32
Anexos.....	35

Índice de Cuadros

Cuadro 1 Larvas parentales fase 2 de Zophobas morio: porcentaje de empupamiento, emergencia y las que se mantuvieron en fase larval, Laboratorio de Entomología, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. Honduras.	21
Cuadro 2 Larvas parentales fase 3 de Zophobas morio: porcentaje de mortalidad, empupamiento, emergencia y las que se mantuvieron en fase larval, Laboratorio de Entomología, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano.	22
Cuadro 3 Adultos parentales de Zophobas morio: porcentaje de mortalidad y supervivencia, Laboratorio de Entomología, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano.	23
Cuadro 4 Larvas de la nueva generación fase 3 de Zophobas morio: porcentaje de empupamiento, emergencia y las que se mantuvieron en fase larval, Laboratorio de Entomología, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano.	25
Cuadro 6 Ciclo de vida de Zophobas morio en Zamorano, desde la fase del huevo, hasta el adulto. .	28
Cuadro 5 Análisis proximal químico completo, de las larvas fase 2 de Zophobas morio, alimentado con harina de diversos granos y desechos vegetales.	29

Índice de Figuras

Figura 1 Extracción y separación de Zophobas morio de la parte final de una letrina en Yuscarán, El Paraíso.....	14
Figura 2 Parentales de Zophobas morio: distribuidas en cajas según su estado de desarrollo.	15
Figura 3 Distribución en cajas de la nueva generación de larvas de Zophobas morio, según su estado de desarrollo.	17
Figura 4 Mediciones de longitud de la nueva generación de larvas fase 1 y 2 de Zophobas morio en un periodo de 30 días, con intervalos de 5 días, Laboratorio de Entomología, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano.	24
Figura 6 Curva de crecimiento de una larva de la nueva generación de Zophobas morio, alimentada con substrato de diferentes granos y residuos vegetales, desde que eclosiona el huevo hasta el empupamiento.	26
Figura 5 Ciclo de vida de Zophobas morio con datos proporcionados desde la eclosión del huevo hasta la emergencia del adulto en Zamorano, y complementado con los datos proporcionado por Schulte (1996) para la fase de huevo y adulto.....	28

Índice de Anexos

Anexo A Adulto de Zophobas Morio recién eclosionado.....	35
Anexo B Pupas de Zophobas morio aisladas en recipientes individuales, para promover el empupamiento. Las larvas que se ven ya alcanzaron sus etapas avanzadas.	36
Anexo C Revisiones de cajas diarias y recambio del alimento.....	37

Resumen

El alto costo de la alimentación en los sistemas pecuarios ha sido identificado como una de las principales causas del aumento en los precios totales. En respuesta a esto, se ha observado un interés en la búsqueda de alternativas para suplementar de manera efectiva los requerimientos nutricionales de las dietas animales. *Zophobas morio*, un coleóptero de la familia Tenebrionidae, se ha destacado como un alimento alternativo de gran importancia, debido a su alto perfil nutricional. El objetivo de este estudio fue establecer una colonia de *Zophobas morio*, determinar el ciclo de vida de este insecto y describir el perfil nutricional de las larvas. Para el establecimiento de la colonia, los insectos en diferentes fases de desarrollo fueron recolectados en el municipio de Yuscarán, departamento de El paraíso, Honduras. Cada fase se separó en cajas de cría, la cuales contenían un sustrato de harina de diversos granos más alimento fresco. Se evaluaron variables de desarrollo tales como el porcentaje de mortalidad, emergencia, empupamiento y longitud de las larvas. Se seleccionaron larvas en fase 2 para realizar un análisis bromatológico y así conocer su perfil nutricional. La mortalidad obtenida fue de 55 y 68%, en larvas fase 3 y adultos respectivamente. El empupamiento fue de 33 y 39% para las larvas fase 2 y fase 3. Se encontró que el ciclo de vida de *Z. morio*, desde el huevo hasta el estado adulto, tiene una duración aproximada de 123 días. Las larvas analizadas poseen un 61.05% de humedad y un 46.55% de proteína.

Palabras clave: Emergencia, larva, pupa, proteína, sustrato.

Abstract

The high cost of feed in livestock systems has been identified as one of the main causes of the increase in total prices. In response to this, there has been an interest in the search for alternatives to effectively supplement the nutritional requirements of animal diets. *Zophobas morio*, a coleopteran of the family Tenebrionidae, has been highlighted as an alternative feed of great importance, due to its high nutritional profile. The objective of this study was to establish a colony of *Zophobas morio*; to determine the life cycle of this insect and describe the nutritional profile of the larvae. For the establishment of the colony, insects in distinct stages of development were collected in the municipality of Yuscarán, department of El Paraíso, Honduras. Each stage was separated into rearing boxes, which contained a substrate of flour of different grains plus fresh food. Developmental variables such as percentage mortality, emergence, empupation, and larval length were evaluated. Stage 2 larvae were selected for bromatological analysis to determine their nutritional profile. Mortality was 55 and 68% in stage 3 larvae and adults, respectively. The empupation was 33 and 39% for stage 1-2 and stage 3 larvae, respectively. It was found that the life cycle of *Z. morio*, from the egg to the adult stage, lasts approximately 123 days. The larvae analyzed had 61.05% moisture and 46.55% protein.

Key words: emergence, larva, pupa, protein, substrate.

Introducción

En la mayoría de los sistemas de producción pecuaria, sin importar el fin (reproductivo o productivo) y la especie del animal, los costos de producción son elevados. Estos costos se encuentran concentrados en su mayor porcentaje sobre la alimentación (Núñez 2017). Para obtener una dieta adecuada, los productores deben tener en cuenta que la alimentación formará entre un 60 a 70% de los costos de totales, debido al alto costo de la materia prima (Núñez 2017). Dentro de los requerimientos, la proteína juega un papel sumamente importante, ya que es uno de los nutrientes que se encuentra en mayor proporción y uno de los más caros (Díaz Mayo, 2014). Además, estos son componentes fundamentales en los tejidos del animal y requeridas para el mantenimiento de las funciones vitales como renovación de tejidos, reproducción, crecimiento y lactación (Ocaña 2011).

La principal materia prima utilizada para suplir los requerimientos de proteína es la soya, aunque también se utilizan otros productos, como harina de camarón, pescado, sangre, etc. No obstante, estas harinas son ricas en proteína también tiene altos precios (Faillace et al. 2016). Un análisis de gastos en alimentación para camarón (*Litopaenaus vannamei* (Boone)), con base a proteína de soya, la cual se llevó a cabo durante 100 días en el centro de investigación de acuicultura de Colombia, muestra que los gastos totales por tonelada de alimento fueron de 1,209.93 USD, representando la harina la soya un 24% de estos gastos (Jabir et al. 2012). En el caso de cerdas reproductoras, la soya representa aproximadamente un 20% de las materias primas y un 25 % de los costos por alimentación (Estévez 2016).

Hoy en día están surgiendo nuevas investigaciones, cuyo objetivo es encontrar alimentos alternativos que permitan brindar estos nutrientes, y les sea posible desempeñarse de forma apropiada, algunos de los alimentos de origen vegetal utilizados son: harina de algodón, girasol, canola, soya, yuca, etc. (González et al. 2007). De la misma manera se han encontrado alternativas de origen animal, como lo es el uso de harina de larvas lo que podría volver el sistema de alimentación más sostenible y disminuir los costos significativamente (Arango et al. 2004). Recientemente, a nivel

mundial se están utilizando muchos insectos, algunos de ellos son: (*Hermetia illucens* (Linnaeus), la mosca común (*Musca domestica* (Linnaeus), el gusano de la harina (*Tenebrio molitor* (Linnaeus)), el gusano de seda (*Bombyx mori* (Linnaeus)) y el grillo doméstico (*Acheta domesticus* (Linnaeus)) (Rodríguez 2020).

Otra de las alternativas de sustitución del uso de materias primas como suplemento de proteína, es el coleóptero *Zophobas morio* (Fabricius) (Coleoptero: Tenebrionidae), es conocido comúnmente como super gusano, gusano Rey, o Gusano de la harina gigante; y su origen se remonta a centro América y Sudamérica, aunque ahora también es encontrado en regiones como Europa y Asia (Rumbos y Athanassiou 2021). La larva de este coleóptero ha resultado ser un alimento muy importante en el mantenimiento de animales insectívoros de toda clase, convirtiéndose en un importante recurso alimenticio para los grandes zoológicos, e institutos que se dedican al cuidado de animales insectívoros (Schulte 1996).

Araújo et al. (2019) encontraron que las larvas de este insecto poseen alrededor de un 46% de proteína cruda, además de proveer también alto contenido de lípidos y minerales. *Zophobas morio* está siendo objetivo de muchas investigaciones, ya que posee múltiples beneficios, Mondragón (2021) identificó dimorfismos sexuales en etapas de larva y pupa; de esta manera, es posible identificar las diferencias entre hembras y machos desde una etapa temprana, evitando así tener que esperar hasta que los insectos alcancen la edad adulta para poder distinguirlos. Métodos de cría de *Z. morio* evaluados por Schulte (1996) en Perú describe producciones de forma intensiva y extensiva a bajo costos, en condiciones climáticas tropicales húmedas. Desde un ámbito ambiental *Z. morio* es un excelente biodegradador de plásticos, siendo estos: poliestireno, polietileno de alta densidad y polietileno de baja densidad (Chávez y Riofrio 2019). Jabir et al. (2012) evaluaron el efecto de la sustitución de la harina de pescado en las dietas de juveniles de tilapia *Oreochromis niloticus* (Linnaeus), teniendo como resultados que, hasta el 25% de la proteína utilizada en la dieta de los peces puede ser sustituida por proteína de *Z. morio* sin mostrar ningún efecto adverso sobre la utilización

del alimento y la composición corporal. Una inclusión de harina de *Z. morio* en la dieta de los pollos de engorde puede mejorar el rendimiento del crecimiento y cambiar determinados rasgos del sistema inmunitario (Benzertiha A et al. 2020).

Heredia y Villalba (2020) mencionan que el cultivo de soya es una preocupación para el gobierno de Honduras y para los productores, debido a la poca superficie de área que se ha destinado para su cultivo. Además, este país importa 170,000 toneladas por año de harina de soya y cinco toneladas de granos enteros de Estados Unidos. Así mismo menciona que Honduras es incapaz de atender su demanda local de soya, teniendo que importar más del 90% de su demanda desbalanceando de esta forma la economía del país.

Los objetivos de esta investigación fueron establecer una colonia de *Z. morio*, determinar el ciclo de vida en condiciones de laboratorio, y evaluar el perfil nutricional que contienen las larvas en las condiciones proporcionadas en el estudio.

Materiales y Métodos

Localización

El experimento se realizó en el Laboratorio de Entomología de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, ubicada en el valle Del Yeguaré, Kilometro 30 al este de Tegucigalpa, departamento de Francisco Morazán, Honduras. La toma de datos se realizó desde el 17 de febrero hasta el 9 de junio del 2023. El laboratorio se encuentra a una elevación de 785 msnm y a una temperatura promedio de 24 a 35 °C para los meses de febrero, marzo y abril.

Metodología de Investigación

Se estableció un estudio de tipo no experimental, descriptivo y cualitativo ya que se utilizó un planteamiento flexible y abierto con respecto a los datos obtenidos (Salgado 2007).

Recolección de Insectos

Los insectos se recolectaron de una finca ubicada en el municipio de Yuscarán, El Paraíso (13.96094, -86.86922), en la parte final de una letrina (Figura 1). Para su transporte fueron separados según estado de desarrollo en recipientes de plástico de 30 x 25 cm, con una cama de harina de diversos granos (40% maíz comercial, 20% maíz amarillo, 30% salvado de trigo y 10% semolina de arroz). Se decidió optar por esta fuente de alimentación ya que según Ramírez (2020) *Z. morio* puede aprovechar el uso de sustratos de harina de granos, los cuales incluso podrían aumentar valores nutricionales del insecto. La separación de los insectos se hizo con el objetivo de evitar generar estrés y canibalismo entre los mismos.

Figura 1

Extracción y separación de Zophobas morio de la parte final de una letrina en Yuscarán, El Paraíso.

**Separación de Insectos Inicialmente Recolectados (Parentales)**

Para la distribución de los insectos según su fase de desarrollo (Figura 2), se utilizó la siguiente clasificación de Schulte (1996)

Larvas fase 1: 0.2 - 0.25

Larvas fase 2: 0.25 - 3 cm

Larvas fase 3: > 3 cm - pupa

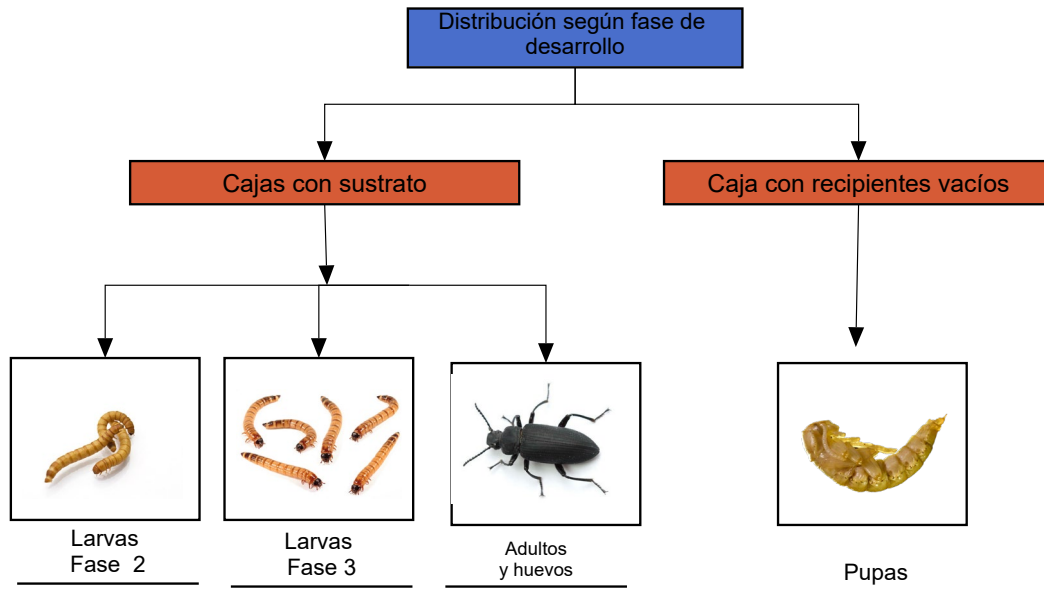
Pupas

Escarabajos adultos.

Se obtuvo un número inicial de seis larvas fase 2; 18 larvas fase 3; dos pupas y 19 adultos (7 hembras y 12 machos).

Figura 2

Parentales de *Zophobas morio*: distribuidas en cajas según su estado de desarrollo.



Preparación de Cajas (Para parentales)

Se utilizaron cuatro cajas de plástico, para toda la población de insectos, con medidas de 80 x 25 cm. Tres de ellas fueron destinadas para los insectos en fase larval 2, 3 y adulta; en las cuales se agregó un sustrato de harina de diversos granos de dos cm de profundidad, que se obtuvo de la planta de concentrados de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. Una vez colocados los insectos se les proporcionó cascaras de vegetales (zanahoria, patate, lechuga repollo, papa y yuca) provenientes de la planta de postcosecha de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. Semanalmente se adicionaban 10 lb de alimento fresco, las cuales se proporcionaban *ad libitum* en todas las cajas. Diariamente se efectuaba una limpieza de los sobrantes y se colocaba alimento fresco.

Con el objetivo de cuantificar el número de huevos, se construyeron seis trampas para recolectar los huevos de *Z. morio*. Las trampas se elaboraron con cajas de cartón acanalado, con una longitud de 5 x 10 cm y se colocaron en la superficie del sustrato.

La cuarta caja se destinó para los recipientes vacíos, donde se colocaron las pupas, a las cuales no se les proporcionó alimento, ya que en esta fase los insectos no se alimentan.

Variables y Parámetros Evaluadas

Las variables evaluadas fueron: porcentaje de mortalidad ^[1], porcentaje de empupamiento^[2], porcentaje de emergencia ^[1], número de huevos eclosionados y longitud de las larvas. Se cuantificaron las variables por medio de revisiones diarias y se calculó usando las siguientes formulas.

$$\text{Porcentaje mortalidad} = \frac{\text{Número de individuos muertos}}{\text{Número de individuos Inicial}} \times 100 \quad [1]$$

$$\text{Porcentaje empupamiento} = \frac{\text{Número de individuos que empuparon}}{\text{Número inicial de larvas}} \times 100 \quad [2]$$

$$\text{Porcentaje emergencia} = \frac{\text{Número de individuos que emergieron}}{\text{Número inicial de pupas}} \times 100 \quad [3]$$

Para cuantificar la longitud de las larvas se hicieron mediciones cada cinco días a lo largo de todo el experimento con la ayuda de una regla de 20 cm. También se evaluaron los parámetros de temperatura y humedad relativa, los cuales se obtenían diariamente usando un higrómetro modelo Ecowitt.

Evaluación de la Nueva Generación de Larvas (F1)

Tamizado y Clasificación (Población F1)

A partir de los adultos, se logró obtener una nueva generación de larvas en distintas etapas de desarrollo, las cuales se extrajeron mediante un proceso de tamizado. Se utilizó un tamiz de 5 mm con una malla de acero inoxidable. El proceso de tamizado se llevó a cabo durante un período de tres días a partir del día 6 de mayo.

Con las larvas que se lograron coleccionar del tamizado, se optó por realizar una nueva reclasificación; en función a los rangos de longitud de las larvas. De esta forma facilitó la clasificación por etapas de desarrollo y se tuvo un mayor control de las características conductuales del insecto. Se clasificaron de la siguiente manera (Figura 3)

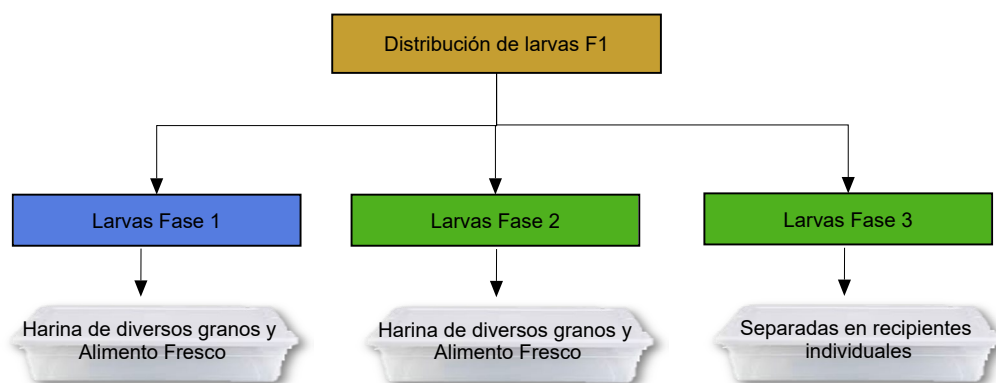
Larvas fase 1: 0.3- 2.5 cm

Larvas fase 2: 2.5- 4 cm

Larvas fase 3: mayor a 4 cm - hasta fase pupal.

Figura 3

Distribución en cajas de la nueva generación de larvas de Zophobas morio, según su estado de desarrollo.



Preparación de Cajas (Población f1)

Para los nuevos individuos se utilizaron tres cajas de plástico, con medidas de: 30 x 20 cm. Dos de ellas fueron destinadas para la colocación de las larvas fase 1 y fase 2, las cuales contenían las mismas condiciones de sustrato, alimento fresco y ubicación que las cajas anteriores. La tercera caja se destinó para las larvas fase 3; y se colocó dentro de las instalaciones del laboratorio de entomología, no se le agregó la cama de sustrato, únicamente alimento fresco *ad libitum*. A las tres cajas se les aplicó agua con un atomizador cada vez que se hacía recambio de alimento, así se mantenía humedad en el medio.

Variables y Parámetros Evaluadas (Población F1)

Para cuantificar los parámetros y variables de la nueva generación, se utilizó el mismo procedimiento anteriormente descrito: los parámetros evaluados fueron temperatura y humedad relativa. Las variables fueron: porcentaje de mortalidad, porcentaje de empupamiento, porcentaje de emergencia y longitud de las larvas.

Para determinar el tiempo de desarrollo de las larvas, se extrajo una muestra representativa en cada fase: De un total de 565 larvas en la fase 1, se seleccionaron 115; de 618 larvas en la fase 2, se tomaron 115; mientras que para las larvas en la fase 3, al ser únicamente 11 individuos, se consideró la totalidad de la población.

Para el estudio de las larvas en fase 1 y fase 2, se registraron las mediciones de longitud cada 5 días durante un período de 30 días, abarcando desde el 9 de junio hasta el 9 de julio de 2023. Con respecto a las larvas fase 3, se colocaron en una caja sin sustrato en donde únicamente se les suministro alimentó fresco por un periodo de 22 días, comenzando el 9 de junio y finalizando el 2 de julio. Se procedió a separar las larvas en recipientes individuales con la finalidad de inducir la fase de pupa. Para evaluar el porcentaje de pupas y porcentaje de emergencia de nuevos adultos, se hizo una revisión diaria, así mismo, se midió el número de días que el insecto permanecía en estas fases.

Análisis Bromatológico

Proceso de Selección y Sacrificio de Larvas

Para conocer el perfil químico proximal completo se seleccionaron las larvas fase 2 con respecto a su longitud; las larvas seleccionadas tenían un rango de 4 - 5 cm. Se extrajeron 200 g de larvas, y para el sacrificio se sometieron a una temperatura de - 20°C, por 48 horas. Posteriormente se sacaron del freezer (Dandy, Modelo: DCF145A3WDB), y se pusieron a descongelar a temperatura ambiente durante 4 horas. Previo al secado se pesaron para obtener peso inicial y calcular el porcentaje de humedad de la larva.

Proceso de Secado y Molienda de Larvas

El secado se realizó en un horno microondas; donde se colocaron las larvas en un plato de cerámica, y al lado se colocó un vaso con 250 ml de agua, así se evitó que la muestra se quemara. Se colocó la muestra en el microondas por tres minutos y se tomó el peso de la muestra. Se repitió el proceso cuatro veces con el mismo tiempo. Luego se repitió el mismo procedimiento cuatro veces más, con la variante de que, por cada vez que se introducía la muestra al microondas, se restaban 30

segundos del tiempo anterior. Cabe recalcar que cada vez que se hacía un nuevo tiempo de secado, se cambiaba el vaso con agua.

Cuando las larvas se encontraban secas, se llevaron a un molino (FOSS CT 193 Cyclotec™) adaptado a un triturador de carne, con el fin de reducir las partículas. La harina obtenida se llevó al laboratorio para realizar el análisis bromatológico.

Análisis Bromatológico en Laboratorio

El análisis se llevó a cabo en el Laboratorio de Análisis de Alimento de Zamorano (LAAZ), donde se realizó un análisis proximal químico completo, el cual incluye: análisis de humedad, cenizas (minerales), grasa cruda, proteína cruda, fibra cruda^[4] y energía bruta^[5].

$$\text{Fibra cruda} = 100 - (\text{humedad} + \text{ceniza} + \text{proteína} + \text{grasa}) \quad [4]$$

$$\text{Energía bruta (Kcal/Kg)} = ((\text{proteína} \times 4) + (\text{grasa} \times 9) + (\text{fibra} \times 4)) \times 10 \quad [5]$$

Resultados y Discusión

Larvas Fase 2 (Parentales)

Desde la introducción de las larvas en el sustrato, se pudo apreciar una notoria preferencia por los trozos de madera y cartones colocados, evidenciada por su tendencia a resguardarse dentro o debajo de los mismos; las larvas también mostraron una asimilación favorable del propio sustrato, pues se mantenían en su interior. Además, se observaron periódicamente mudas en el medio.

Desde que las larvas se colocaron en las cajas, pasó un tiempo promedio de 25 días, para que alcanzaran una longitud de 3 cm y 50 días más, para que dichas larvas entraran a empupar. Esto supera la cantidad de días esperados, ya que de acuerdo a Schulte (1996) generalmente cuando una larva alcanza los 3 cm, tarda alrededor de 35 días para este comience a empupar. Yoon et al. (2018) midieron el desarrollo de una larva de *Z. morio* en diferentes temperaturas, y encontraron que arriba de 33 °C, el tiempo de desarrollo de la larva disminuye, lo que significa que tardará más días en que la larva comience a empupar. El tiempo de empupamiento, desde el inicio de este proceso hasta la emergencia de los nuevos adultos tomó un tiempo promedio de nueve a diez días.

No se observó mortalidad, sin embargo, solo dos larvas llegaron a empupar, resultando así que las cuatro larvas restantes se mantuvieron en estado larval, sin mostrar comportamiento de empupación (Cuadro 1). Según Delfosse (2005), si las condiciones ambientales no son las adecuadas, las larvas pueden simplemente morir o se podría inhibir la formación de la pupa. De las larvas que empuparon el 100% logró emerger y convertirse en adultos.

Cuadro 1

Larvas parentales fase 2 de Zophobas morio: porcentaje de empupamiento, emergencia y las que se mantuvieron en fase larval, Laboratorio de Entomología, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano.

Honduras.

	Cantidad	Porcentaje
Empupamiento	2	33
Emergencia	2	100
Se mantuvieron en fase larval	4	67

Larvas Fase 3 (Parentales)

Las larvas fase 3 mostraron buena aceptación por el sustrato y los trozos de madera: a diferencia de las larvas fase 2, las larvas fase 3 optaron por mantenerse dentro de esta. Este comportamiento es similar a lo reportado en la literatura, Kim et al. (2015) quienes destacan que las larvas, al aproximarse a la fase de pupa, muestran una preferencia por lugares que brinden resguardo. Uno de los factores por los cuales las larvas buscan estos lugares es por el posible canibalismo que pueden llegar a experimentar, ya que el canibalismo ser un factor que inhibe el empupamiento.

Después de 17 días desde el inicio del experimento, dos larvas comenzaron a manifestar comportamientos característicos de preparación para la fase de pupa (postura en forma de C). Dichas larvas murieron dos días después de haber adoptado esta postura. Después de 57 días, nuevamente se observó que había larvas con comportamiento de formación de pupa, permaneciendo en esta postura durante tres a cuatro días. Después de un lapso 9 a 10 días en estado de pupa, emergieron adultos nuevos.

En el cuadro 2 se muestra un 55% de mortalidad; ya que 10 de las 18 larvas murieron. El 70% de las muertes se concentraron en los primeros 15 días del experimento, lo cual es atribuido al incremento de la temperatura. Según los datos de la estación climatológica ATMOS en los meses de marzo y abril las temperaturas aumentaron hasta alcanzar los 37.5-38°C, afectando el ambiente donde se mantenían las larvas. De acuerdo a Yoon et al. (2018) el porcentaje de mortalidad aumenta en

función al incremento de temperatura. Yoon expuso las larvas a temperaturas de 25, 27, 30, 33°C obteniendo resultados de mayor mortalidad en las larvas expuestas a 33°C.

Además, el cuadro muestra que el 39 % de las larvas empuparon, pero solo un 86% de éstas emergió. También se encontró un caso de canibalismo entre larvas, viéndose reflejada por mordeduras en la parte posterior, la cual se encontró muerta sobre el sustrato. Esta larva estaba entrando en un periodo de descanso para entrar al empupamiento, lo cual volvió a la larva susceptible al canibalismo. Zaelor y Kitthawee (2018) al analizar los factores que influyen en el canibalismo, determinaron que los individuos inmóviles eran los objetivos principales para presentar canibalismo.

Cuadro 2

Larvas parentales fase 3 de Zophobas morio: porcentaje de mortalidad, empupamiento, emergencia y las que se mantuvieron en fase larval, Laboratorio de Entomología, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano.

	Cantidad	Porcentaje
Mortalidad	10	55
Empupamiento	7	39
Emergencia	6	86
Se mantienen en fase larval	1	6

Pupas (Parentales)

Las dos pupas obtenidas, comenzaron a mostrar signos de madurez a través de una serie de cambios distintivos; estos incluyeron coloración progresiva que variaba desde un tono blanco crema hasta un marrón oscuro en las patas, cabeza y antenas. Después de cuatro días, se notó un cambio en la coloración del cuerpo de la pupa, el cual se tornó completamente negro y comenzó a emitir un olor desagradable. Se dedujo que esta pérdida fue producto al proceso de transporte de los insectos, ya que el movimiento perturbó el desarrollo de las pupas. Schulte (1996) las pupas deben de colocarse en recipientes individuales, donde no se genere perturbación, ya que podría provocar la muerte.

Adultos (Parentales)

El comportamiento de los adultos presentó ciertas particularidades; como mostrar preferencia por permanecer abajo de los cartones de huevos. Según Schulte (1996) *Z. morio* es un insecto con estilo de vida nocturno, por lo tanto, el insecto busca zonas con sombra en lugares donde hay mucha luz.

En esta caja, las trampas de huevos no fueron funcionales, ya que no se logró que las hembras ovipositaran sobre las ranuras de los cartones; sino ovipositando entre el sustrato, lo que dificultó la recolección de ellos. La humedad propiciada en medio del sustrato se acercaba más a las condiciones ideales para la oviposición en comparación con la humedad donde se encontraban las trampas. Schulte (1996) describe que las trampas de huevos se deben mantener a una humedad alta y temperaturas bajas, así las condiciones serán favorables para la oviposición y desarrollo de los huevos.

El cuadro 3 muestra un 68% de mortalidad, y durante el experimento se observó que la mayor cantidad de muertes se concentró en los primeros 46 días. Esta representatividad en el porcentaje de muertes en los primeros días se debe al cambio de hábitat al que fueron sometidos, ya que según los datos obtenidos por la estación climatológica ATMOS, el lugar donde se desarrolló el experimento alcanzó temperaturas de hasta 38°C en los meses de marzo y abril, mientras que para los meses de enero y febrero los picos más altos fueron de 34°C. Según Flores y Uribe (2019) la temperatura óptima para el desarrollo de este insecto en su estado adulto es de 28-30° C.

A partir de los adultos también se obtuvo un total de 1194 larvas, de las cuales: 565 se clasificaron como fase 1; 618 fase como 2 y 11 como fase 3.

Cuadro 3

Adultos parentales de Zophobas morio: porcentaje de mortalidad y supervivencia, Laboratorio de Entomología, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano.

	Cantidad	Porcentaje
Mortalidad	13	68
Supervivencia	6	32

Nueva Generación de Larvas

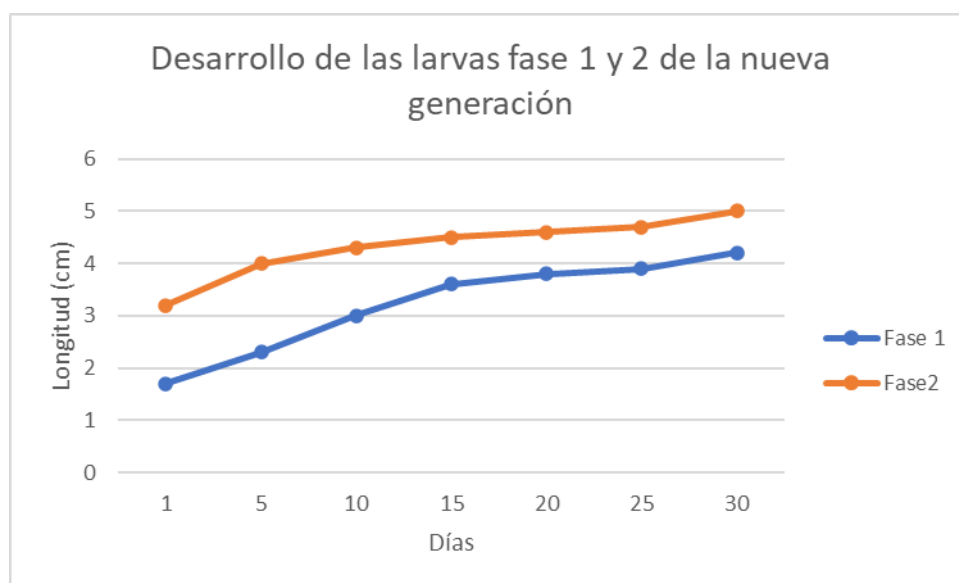
Larvas Fase 1 y Fase 2 (Población F1)

En la figura 4, se presenta el crecimiento acelerado en las larvas fase 1, con una longitud inicial de 1.7 cm logrando alcanzar los 4.2 cm, obteniendo así, una diferencia de 2.5 cm en un periodo de 30 días. Por otro lado, las larvas fase 2 obtuvieron una diferencia de 1.8 cm, creciendo desde 3.2 hasta llegar a los 5 cm. Se infiere que las larvas fase 1 tuvieron un crecimiento más acelerado en comparación a las larvas fase 2, debido a que las que se encontraban en fase 2 estaban finalizando su fase larval, por ende, la curva de crecimiento iba disminuyendo.

Finalmente, no se presentó mortalidad en ninguna de las fases o presencia de canibalismo, mostrando que se adecuaron mejor a las condiciones de temperatura, humedad y alimento previsto.

Figura 4

Mediciones de longitud de la nueva generación de larvas fase 1 y 2 de Zophobas morio en un periodo de 30 días, con intervalos de 5 días, Laboratorio de Entomología, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano.



Larvas Fase 3 (Población F1)

Como se observa en el cuadro 4, el 73% de las larvas que se colocaron en recipientes individuales logró empupar, dando como resultado que únicamente el 27% de las larvas se mantuvieron en fase larval sin mostrar algún indicio de empupamiento. Además, se registró que el 100% de las pupas emergieron. Kim et al. (2015), muestran que el porcentaje de empupamiento aumenta a medida que las larvas se aproximan a un estadio larval mayor o final; esto es difícil de determinar en *Zophobas morio* debido a que el último estadio larval puede ser de varios tamaños y el investigador puede asumir erróneamente, basado en una larva grande, que el ciclo larval ha terminado.

Se atribuye que el incremento en el porcentaje de empupamiento, se dio gracias a la estabilización de temperatura, ya que las larvas fase 3 fueron colocadas dentro de las instalaciones del laboratorio de entomología donde las temperaturas oscilaban entre los 27-29°C, así mismo la temperatura ambiental registrada para los meses de mayo y junio disminuyó a 36.1°C.

En contraste con las pupas que se recolectaron inicialmente, en esta nueva generación no se observó mortalidad; esto se atribuye a que no fueron perturbadas como se dio con las primeras pupas, debido a la recolección y transporte.

Cuadro 4

Larvas de la nueva generación fase 3 de Zophobas morio: porcentaje de empupamiento, emergencia y las que se mantuvieron en fase larval, Laboratorio de Entomología, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano.

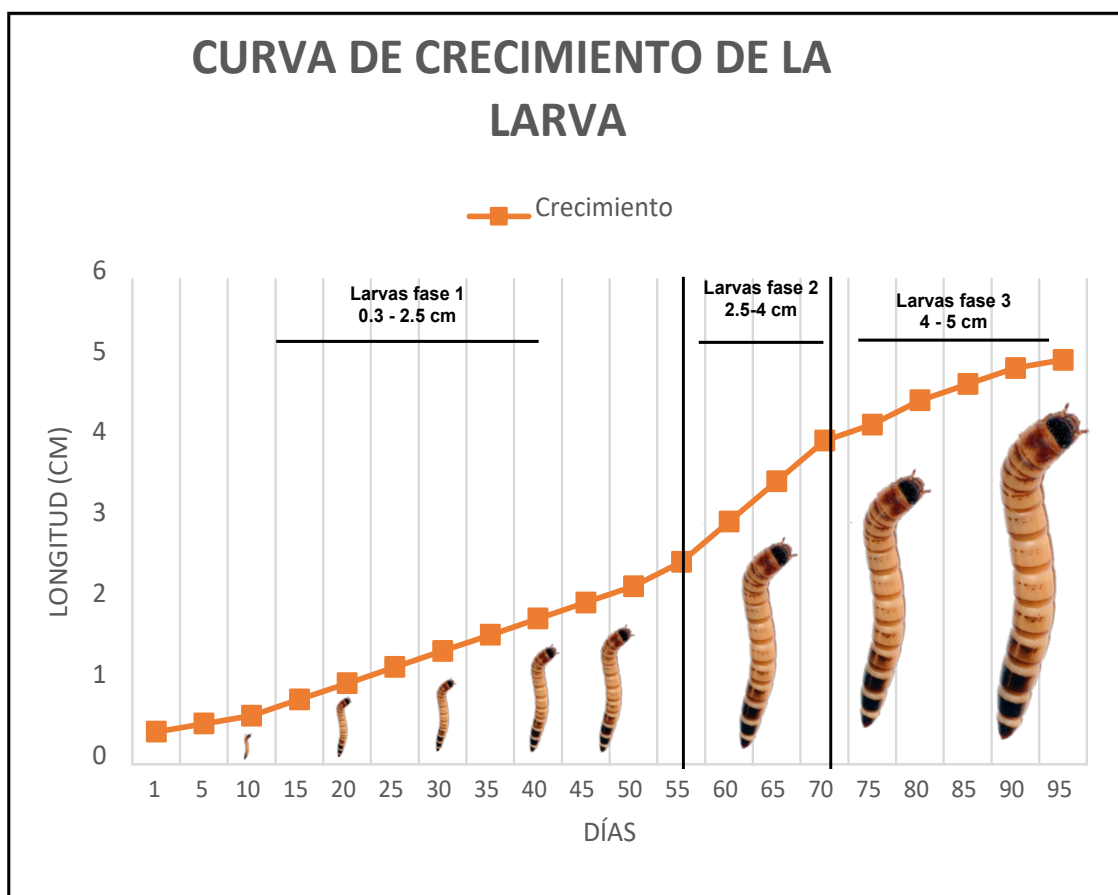
	Cantidad	Porcentaje
Empupamiento	8	73
Emergencia	8	100
Se mantuvieron en fase larval	3	27

Curva de Crecimiento de la Larva (Población F1)

En la figura 6 se observa el desarrollo de una larva, la cual presenta un crecimiento lineal desde el día uno hasta el 50; creciendo desde 0.4 hasta 2.2 cm. Aproximadamente entre el día 50 y el 70, el crecimiento se acelera, creciendo así desde 2.2 hasta los 4 cm. Después, desde el día 70 hasta el 95, se observa una disminución en la velocidad del desarrollo, logrando una longitud total de 5 cm.

Figura 5

Curva de crecimiento de una larva de la nueva generación de Zophobas morio, alimentada con substrato de diferentes granos y residuos vegetales, desde que eclosiona el huevo hasta el empupamiento.



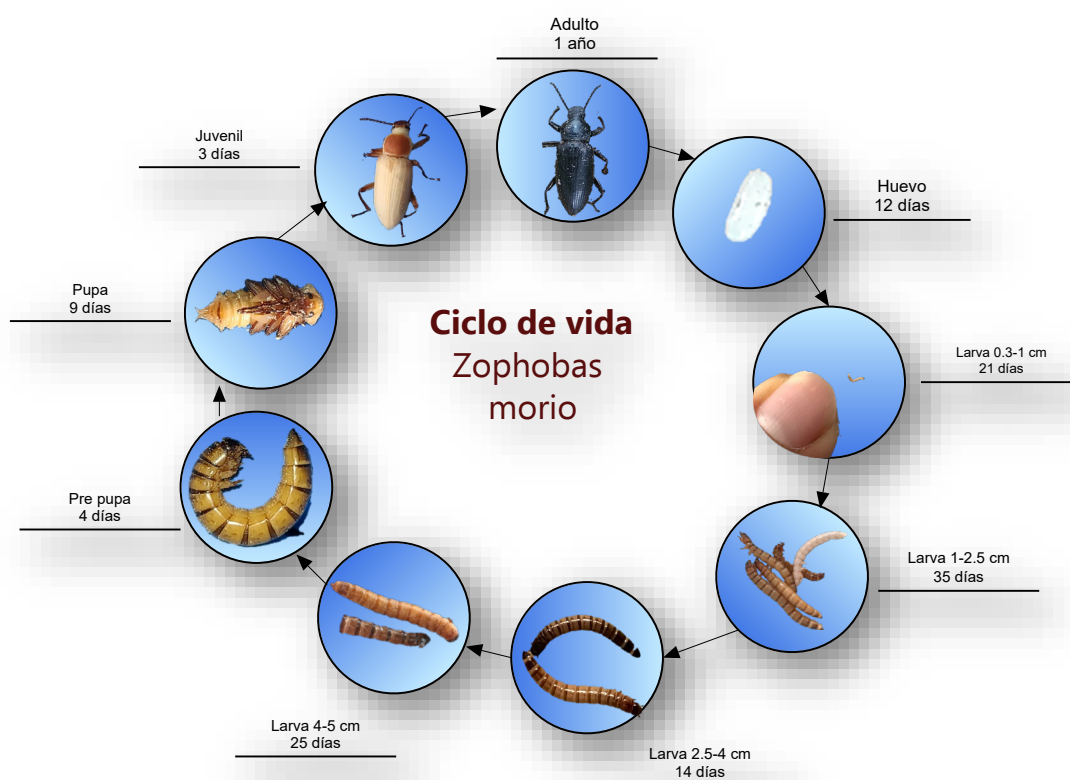
Ciclo de Vida de *Zophobas morio*

Recopilado los datos de cada fase, se determinó el ciclo de vida de *Zophobas morio* en estas condiciones de laboratorio. Sin embargo, la fase de huevo no se logró estudiar, debido a que no se pudieron coleccionar. Weill (2020) estima que la fase de huevo tiene una duración de entre 8 a 12 días en promedio. Con respecto a la fase larval, el tiempo de duración promedio fue de 99 días, desde la eclosión del huevo hasta el comienzo de la fase pupal. El empupamiento tuvo una duración de 9 días hasta la emergencia; de esta forma se promedió un ciclo de vida de 123 días (Figura 5). Además, se tuvo la limitante de tiempo para poder cuantificar la duración de la fase adulta, sin embargo, según Schulte (1996) un escarabajo de *Z. morio* puede llegar a vivir aproximadamente un año.

Kim et al. (2015) mencionan que una larva puede mudar de 8 a más de 20 veces, antes de comenzar a empupar, lo cual dependerá de varios factores intrínsecos y extrínsecos como la calidad del alimento, la densidad, la humedad, la temperatura y el fotoperiodo, consecuentemente el ciclo de vida se puede alargar o acortar.

Figura 6

Ciclo de vida de *Zophobas morio* con datos proporcionados desde la eclosión del huevo hasta la emergencia del adulto en Zamorano, y complementado con los datos proporcionado por Schulte (1996) para la fase de huevo y adulto.



En el cuadro 6, se presenta la duración del ciclo de vida de *Zophobas morio*, en el cual se evidenciaron algunas de las características de comportamiento y tamaño más relevantes que se pudieron observar en el experimento.

Cuadro 5

Ciclo de vida de *Zophobas morio* en Zamorano, desde la fase del huevo, hasta el adulto.

Fase del insecto	Número de días por fase	Número de días por Fase
Huevo	12	12
Larva de 0.3-1 cm	21	
Larvas de 1-2.5 cm	35	
Larvas de 2.5-4 cm	14	99
Larvas de 4-5 cm	25	
Pre-pupa	4	

Fase del insecto	Número de días por fase	Número de días por Fase
Pupa	9	9
Adulto recién eclosionado	3	
Adulto	1 año (Schulte 1996)	1 año (Schulte 1996)

Análisis Bromatológico

El análisis proximal químico completo de la harina de larvas fase 2 de *Z. morio en base seca*, muestra un 61.05% de humedad, 2.64% de cenizas, 46.55% de proteína y 33.7% de grasa. Además, con estos resultados se encontró que el porcentaje de fibra cruda es de 13.2% y la energía bruta de 5,423 Kcal/kg (Cuadro 5). Ramírez (2020) muestra el nivel de proteína de tres análisis bromatológicos, obteniendo los siguientes porcentajes: 46%, 46.8% y 43.13%. Así mismo el análisis de proteína de la larva de *Hermetia I.* reportada por Arango et al. (2004) fue de 36%. Si se compara el nivel de proteína de *Z. morio*, con los análisis realizados por otros investigadores se aprecia que no hay diferencia significativa, sin embargo, si se compara el nivel proteína con otras harinas, como lo es *Hermetia Illucens*, o incluso con la soya misma; *Z. morio* muestra un nivel superior, de esta forma se determina que *Z. Morio* es una fuente alternativa como sustituto de los productos proteicos tradicionales.

Cuadro 6

Análisis proximal químico completo, de las larvas fase 2 de Zophobas morio, alimentado con harina de diversos granos y desechos vegetales.

	Unidades	Concentración
Humedad	g/100g	61.05 ¹
Cenizas	g/100g	2.64
Proteína	g/100g	46.55
Grasa	g/100g	33.7
Fibra cruda	g/100g	13.2
Carbohidratos Digeribles (ELN)	g/100g	0
Energía bruta	Kcal/kg	5423

Conclusiones

Se estableció la colonia de *Zophobas morio*, logrando obtener una fuente constante de huevos, larvas pupas y adultos.

Se logró definir el ciclo de vida del *Zophobas morio*, desde la fase del huevo hasta la emergencia del adulto, con una duración promedio de 120 días.

Con el análisis bromatológico se identificó un porcentaje de proteína de 46.55%, siendo así *Zophobas morio* una posible futura fuente de proteína.

Recomendaciones

Hacer una validación de los datos, por fase del insecto, con un mayor número unidades experimentales.

Realizar una investigación donde se pongan a prueba diferentes condiciones ambientales controladas y diferentes sustratos, en la que se evalué el comportamiento y desarrollo del insecto.

Hacer un análisis económico para saber si la diferencia de tiempo en la producción de la especie, en comparación con otras que son utilizadas como fuente de proteína, generan una diferencia significativa respecto a costo y aporte de proteína.

Investigar acerca de diferentes métodos de trampas para huevos, que permitan cuantificar de forma confiable el número de huevos.

Comparar los datos obtenidos de los exámenes bromatológicos con las diferentes especies utilizadas en la Escuela Agrícola Panamericana, como suplementos en dietas animales.

Evaluar el efecto que tiene el consumo de harina de larvas de *Z. morio* en peces, aves, cerdos y rumiantes.

Referencias

- Arango G, Vergara R, Mejia H. 2004. Análisis composicional, microbiológico y digestibilidad de la proteína de la harina de larvas de *hermetia illuscens* l (diptera: stratiomyidae) en angelópolis-antioquia, Colombia. Facultad Nacional de Agronomía Medellín; [consultado el 23 de jul. de 2023]. 57(2):2491–2500. <http://www.scielo.org.co/pdf/rfnam/v57n2/a09v57n2.pdf>.
- Araújo R, Benfica T, Ferraz V, Santos E. 2019. Nutritional composition of insects *Gryllus assimilis* and *Zophobas morio*: Potential foods harvested in Brazil. Food Composition and Analysis; [consultado el 23 de jul. de 2023]. 76:22–26. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0889157518312195>.
- Benzertiha A, Kierończyk B, Kołodziejcki P, Pruszyńska-Oszmałek E, Rawski M, Józefiak D, Józefiak A. 2020. Tenebrio molitor and *Zophobas morio* full-fat meals as functional feed additives affect broiler chickens' growth performance and immune system traits. Poult Sci. 99(1):196–206. eng. doi:10.3382/ps/pez450.
- Chávez E, Riofrio I. 2019. Evaluación de la Influencia de la Función Digestiva del *Zophobas morio* en la Biodegradación de tres tipos de plástico [Tesis de Pregrado]. Perú: Universidad César Vallejo. 219 p; [consultado el 21 de jul. de 2023]. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/10937?locale-attribute=es>.
- Delfosse E. 2005. Taxinomie, répartition et biologie du Ver à bois géant *Zophobas morio* (Fabricius, 1776) (Insecta: Coleoptera, Tenebrionidae). Researchgate. (25). https://www.researchgate.net/profile/Emmanuel-Delfosse/publication/318373820_Taxinomie_repartition_et_biologie_du_Ver_a_bois_geant_Zophobas_morio_Fabricius_1776_Insecta_Coleoptera_Tenebrionidae/links/59662424aca27227d792b618/Taxinomie-repartition-et-biologie-du-Ver-a-bois-geant-Zophobas-morio-Fabricius-1776-Insecta-Coleoptera-Tenebrionidae.pdf.
- Díaz G. Mayo, 2014. Uso de la larva de Tenebrio (*Tenebrio molitor*) como aditivo proteico, en la alimentación de codornices [Tesis de Pregrado]. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala; [consultado el 18 de ago. de 2023]. <https://core.ac.uk/download/pdf/35292448.pdf>.
- Estévez JA. 2016. Manejo alimentario durante la gestación y lactancia en una unidad-integral de producción porcina. Revista de Producción animal; [consultado el 21 de jul. de 2023]. 28(2-3). http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-79202016000200001.
- Faillace J, Vergara R, Suarez A. 2016. Evaluación de una fórmula alimenticia para camarón de cultivo (*L. vannamei*) con inclusión de proteína vegetal a base de harina de soya. Aquatic; [consultado el 21 de jul. de 2023]. (44):12–29. <http://revistaaquatic.com/ojs/index.php/aquatic/article/view/271/254>.
- Flores S, Uribe P. 2019. Desarrollo de un sistema de ambiente controlado para la producción y cría de *Tenebrio Molitor* y *Zophoba Morio* [Tesis de Pregrado]. Cundinamarca: Universidad de Cundinamarca. 27 p; [consultado el 21 de jul. de 2023]. <https://repositorio.ucundinamarca.edu.co/bitstream/handle/20.500.12558/2847/Informe%20Desarrollo%20de%20un%20ambiente%20controlado%20para%20la%20produccion%20y%20cria%20de%20tenebrio%20molitor%20y%20zophoba%20morio.pdf?sequence=1>.
- González SR, Cruz R, Navarro V, Ponce JT. 2007. Los productos y subproductos vegetales, animales y agroindustriales.: Una alternativa para la alimentación de la tilapia. Bio Ciencias; [consultado el 21

- de jul. de 2023]. 2(4):240–251. <http://dspace.uan.mx/jspui/bitstream/123456789/596/1/biociencias4-4-2.pdf>.
- Heredia N, Villalba S. 2020. Exploración del uso alternativo de *Hermetia illucens* (L.) (Diptera: Stratiomyidae) en la dieta de pollos de engorde y peces en la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano [Proyecto Especial de Graduación]. Honduras: Escuela Agrícola Panamericana Zamorano. 30 p; [consultado el 21 de jul. de 2023]. <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/f9de19ce-cb5e-4e38-8da6-cb25af55c635/content>.
- Jabir MDAR, Razak SA, Vikineswary S. 2012. Nutritive potential and utilization of super worm (*Zophobas morio*) meal in the diet of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) juvenile. Afr. J. Biotechnol; [consultado el 18 de ago. de 2023]. 11(24). <https://www.ajol.info/index.php/ajb/article/view/102010>. doi:10.5897/AJB11.1084.
- Kim, Kim HG, Song SH, Kim NJ. 2015. Developmental characteristics of *Zophobas atratus* (Coleoptera: Tenebrionidae) larvae in different instars. International Journal of Industrial Entomology. 30(2):45–49. doi:10.7852/ijie.2015.30.2.45.
- Mondragón I. 2021. Dimorfismo sexual de *Zophobas morio* (Fabricius, 1776) (Coleoptera, Tenebrionidae) en las etapas de pupa y de adulto. Ingeniería y Región. 25:22–31. doi:10.25054/22161325.2703.
- Núñez O. 2017. Los costos de la alimentación en la producción pecuaria. J.Selva Andina Anim. Sci. 4(2):93–94. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2311-25812017000200001.
- Ocaña S. 2011. Utilización de nupro (Nucleótidos, proteínas, de inositol), en dieta para cuyes, en la etapa de cricimiento, engorde, y gestación-lactancia [Tesis de Pregrado]. Ecuador: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. 115 p; [consultado el 21 de jul. de 2023]. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/1553/1/17T01067.pdf>.
- Ramírez C. 2020. Implicaciones del uso de larvas de *Tenebrio molitor* y *Zophobas morio* en la alimentación avícola. [Tesis de Pregrado]. Garagoa, Colombia: Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD; [consultado el 24 de jul. de 2023]. <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/36738/coramirezpabon.pdf?sequence=3&isAllowed=y>.
- Rodriguez AM. 2020. Propuesta De Alternativas De Producción De Proteína Para Alimentación Animal A Partir De Insectos En Colombia [Trabajo de Pregrado]. Colombia: Universidad Nacional Abierta y a Distancia; [consultado el 21 de jul. de 2023]. <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/36259/amrodriguezcha.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Rumbos C, Athanassiou C. 2021. The Superworm, *Zophobas morio* (Coleoptera:Tenebrionidae): A 'Sleeping Giant' in Nutrient Sources. Journal of insect science. 21(2). eng. <http://dspace.uan.mx/jspui/bitstream/123456789/596/1/biociencias4-4-2.pdf>. doi:10.1093/jisesa/ieab014.
- Salgado A. 2007. Investigación cualitativa: diseños, evaluación del rigor metodológico y retos. Liber. 13(13). http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1729-48272007000100009.
- Schulte R. 1996. El Manejo de *Zophobas Morio* (Coleoptera Tenebrionidae) en Climas Tropicales Húmedos. Folia amazonica. 8(2). doi:10.24841/fa.v8i2.321.
- Weill R. 2020. Influencia del uso de frutos de destrío como alimento en el perfil lipídico de larvas de insectos [Tesis de Posgrado]. Almería. España: Universidad de Almería; [consultado el 21 de jul. de

2023]. https://scholar.google.com/scholar?hl=es&as_sdt=0%2C5&q=influencia+del+uso+de+frutos+DESTR%C3%8DO+COMO+ALIMENTO+EN+EL+PERFIL+LIP%C3%8DDICO+DE+LARVAS+DE+INSECTOS&btnG=.

Yoon H, Jin H, Yon K, Lee Y. 2018. Development characteristics of *Zophobas atratus*, Super mealworm on different temperature. [sin lugar]: [sin editorial]; [consultado el 21 de jul. de 2023]. <https://db.koreascholar.com/Article/Detail/364626>.

Zaelor J, Kitthawee S. 2018. Growth response to population density in larval stage of darkling beetles (Coleoptera; Tenebrionidae) *Tenebrio molitor* and *Zophobas atratus*. *Agriculture and Natural Resources*. 52(6):603–606. doi:10.1016/j.anres.2018.11.004.

Anexos**Anexo A**

Adulto de Zophobas Morio recién eclosionado



Anexo B

Pupas de Zophobas morio aisladas en recipientes individuales, para promover el empupamiento. Las larvas que se ven ya alcanzaron sus etapas avanzadas.



Anexo C

Revisiones de cajas diarias y recambio del alimento.

