

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA UNIDAD XOCHIMILCO  
DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD  
DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA Y ANIMAL  
LICENCIATURA EN MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA

INFORME FINAL DE SERVICIO SOCIAL

DETERMINACIÓN DEL EFECTO DE LA DENSIDAD DE SIEMBRA EN EL PESO Y  
SOBREVIVENCIA DE LARVAS DE *Tenebrio molitor* EN UN NÚCLEO GENÉTICO

Prestador de Servicio Social:

Rodríguez Balderas Angel Adolfo

Matrícula: 2143024848

Asesoras



Interno: Dra. Alejandra Caballero Zamora.

Núm. Económico: 39203



Externo: M. en C. Wendy Ortiz Padilla.

Cédula Profesional: 12398244

Lugar de realización: Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco  
Universidad Autónoma Metropolitana

Fecha de inicio y terminación: Del 3 de octubre del 2022 al 3 de abril del 2023

## Índice

<b>1. Introducción</b> .....	1
2. Revisión de Literatura.....	2
2.1 Importancia de la producción de insectos comestibles.....	2
2.2 Aspectos Biológicos Generales de <i>Tenebrio molitor</i> .....	4
2.3 Aspectos Productivos de <i>Tenebrio molitor</i> .....	5
2.4 Programas de mejoramiento genético en la entomocultura.....	6
2.5 Estructura de sistemas de producción.....	7
2.5.1 Núcleos Genéticos.....	7
2.5.2 Multiplicadoras.....	8
2.5.3 Granjas Comerciales.....	8
<b>3. Antecedentes</b> .....	9
<b>4. Objetivo General</b> .....	10
<b>5. Objetivos Específicos</b> .....	10
<b>6. Hipótesis</b> .....	10
<b>7. Material y Métodos</b> .....	10
7.1 Población.....	10
7.2 Formación de Familias.....	11
7.3 Obtención de Datos.....	12
7.4 Análisis Estadístico.....	12
<b>8. Resultados</b> .....	13
<b>9. Discusión</b> .....	14
9.1 Efecto de la Densidad sobre el Peso.....	14
9.2 Efecto de la Densidad sobre la Supervivencia.....	14
9.3 Efecto del Lote sobre Peso y Supervivencia.....	15
<b>10. Conclusiones</b> .....	16
<b>11. Literatura Citada</b> .....	16

## 1. Introducción

La producción de insectos comestibles ha surgido como una alternativa de proteína animal para satisfacer la demanda de alimento que será necesario debido al constante incremento poblacional, ya que se ha estimado que para el año 2050 la cantidad de alimento disponible deberá aumentar en un 60% para garantizar la seguridad alimentaria (Ritchie, 2017).

De manera general, los insectos comestibles contienen alrededor de 29% de proteína, con una tasa de conversión alimenticia de 3.1 kg de alimento por kg de peso vivo, y han sido clasificados por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por sus siglas en inglés) como un alimento alto en proteína (Van Huis *et al.*, 2013; Payne *et al.*, 2015; Grau *et al.*, 2017; Orkusz, 2021). Además de esto, dada su alta conversión alimenticia, su ciclo de vida relativamente corto, la alta tasa de reproducción, entre otros factores, la producción de insectos tiene el potencial de producir una mayor cantidad de alimento con menos recursos utilizados en comparación con los recursos necesarios para la producción de animales como los porcinos y bovinos, por lo que se ha propuesto complementar la producción de animales convencionales para consumo humano con la producción de insectos comestibles (Van Huis *et al.*, 2013; Gahukar, 2016; FAO, 2021).

Una de las especies con mayor enfoque en su producción es el *Tenebrio molitor*, también conocido como el gusano de harina, debido a su facilidad de manejo, rápido crecimiento, y su eficiencia en conversión alimenticia (Grau *et al.*, 2017; Ribeiro *et al.*, 2018; Bordiean *et al.*, 2020).

En la producción del gusano de harina el objetivo es obtener la mayor cantidad de biomasa posible, la cual es dada por el peso y la sobrevivencia de los individuos. Esta especie de insectos es cosechada en etapa larvaria, y se ha documentado con tasas de crecimiento larvario entre 0.4 y 2.1 mg por día, con una sobrevivencia estimada de 80 a 92% (Van Broekhoven *et al.*, 2015; Ribeiro *et al.*, 2018). Con la finalidad de conocer las condiciones ambientales adecuadas para un mayor rendimiento de biomasa se ha investigado el efecto de variables como la temperatura, humedad relativa, cantidad de horas luz, calidad del sustrato, la densidad de siembra de larvas y adultos, entre otros (Berggreen *et al.*, 2018; Zaelor. y Kitthawee, 2018; Deruytter y Coudron, 2021; Deruytter *et al.* 2022, Zim *et al.*, 2022). Particularmente, la densidad de siembra de larvas en producciones comerciales de *T. molitor* ha tomado relevancia pues permite directamente

aprovechar al máximo el espacio disponible para su producción. Se ha documentado que la densidad de siembra tiene un efecto directo en la biomasa obtenida en un ciclo productivo, ya que al incrementar el número de larvas contenidas en un espacio la biomasa aumenta, sin embargo, al igual que en la producción de animales para consumo humano, una densidad de organismos excesiva tiene efectos adversos en características relacionadas con el crecimiento y aptitud biológica (Van Huis *et al.*, 2018; Deruytter y Coudron, 2021; Deruytter *et al.*, 2022).

Dentro de la industria de la producción animal existen núcleos genéticos en donde se aplican programas de mejoramiento genético animal para favorecer la selección de individuos que presenten características deseables de la población. Determinar la densidad de siembra de larvas en un núcleo genético de *T. molitor* permitiría integrar esta información en un programa de mejoramiento genético para reducir el impacto que tienen los factores ambientales sobre el fenotipo de los individuos, y de esta manera lograr establecer criterios de eliminación más precisos dentro del núcleo que permitan seleccionar familias con mayor peso y tasa de sobrevivencia.

## 2. Revisión de Literatura

### 2.1 Importancia de la producción de insectos comestibles

La producción de alimentos de origen animal y vegetal acaparan alrededor del 50% de la tierra habitable, de la cual aproximadamente el 80% es utilizada exclusivamente para la producción de animales para consumo humano (Ritchie, 2017). Se ha estimado que para el año 2050 la población mundial alcance los 9 mil millones de individuos, lo cual genera presión por implementar estrategias de seguridad alimentaria que puedan aumentar la cantidad de alimento disponible en un 60% (Ritchie, 2017; Bordiean *et al.*, 2020).

La producción de insectos comestibles ha surgido como una solución prometedora para alcanzar la seguridad alimentaria para la población, ya que se han clasificado como un alimento de alto valor nutricional por su contenido de proteína (7 - 48g en 100g de materia fresca) (Van Huis *et al.*, 2013; Grau *et al.*, 2017). Este contenido proteico varía de acuerdo a la especie, el alimento consumido durante su desarrollo, y la etapa en las que son cosechados, sin embargo, de manera general, sus valores son mayores a los de bovinos de carne (19 - 26g en 100g de materia fresca), y

cerdo (16.9 - 20.1g en 100g de materia fresca), por lo que han sido reconocidos por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por sus siglas en inglés) como un alimento con alto valor proteico (Van Huis *et al.*, 2013; Payne *et al.*, 2015; FAO, 2021, Orkusz, 2021). Asimismo, insectos como grillos, moscas soldado negro, y gusanos de harina han demostrado tener una eficiencia de conversión alimenticia de 3 a 7 veces mayor en comparación con los bovinos de carne, y cerdos (Van Huis *et al.*, 2013; Gahukar, 2016).

Es debido a su alto contenido de proteína, y su alta eficiencia alimenticia que, de manera general, el enfoque directo que se ha abordado con los insectos comestibles ha sido su complementación a la producción de otras especies convencionales para consumo humano, sin embargo, también han sido estudiados como suplemento en las dietas de otras especies (Gahukar, 2016, Ribeiro *et al.*, 2018; Abro *et al.*, 2020; FAO, 2021; Shafique *et al.*, 2021).

Los insectos comestibles se han considerado como una respuesta a la seguridad alimentaria que responde directamente a la necesidad de incrementar la proteína animal disponible, e indirectamente como suplemento en las dietas de animales de consumo humano, ya que permite que ingredientes como la harina de soya, maíz, y harina de pescado que son utilizados como parte de las dietas de estos animales sean aprovechados por el humano (Van Huis *et al.*, 2013; Grau *et al.*, 2017).

La complementación de la producción de insectos comestibles a la producción de animales convencionales de consumo humano tiene como base lograr producir una mayor cantidad de alimento con una menor utilización de espacio, ya que los insectos ocupan la mitad del espacio requerido para la producción cerdos, y una décima parte del espacio requerido para la producción de bovinos de carne (Gahukar, 2016, FAO, 2021). Un beneficio adicional que conlleva este enfoque es que disminuiría la cantidad de recursos como agua y luz necesaria, y se reducirían los niveles de gases de efecto invernadero producidos por la industria de alimentos de origen animal (Van Huis *et al.*, 2013; Gahukar, 2016).

Se ha estudiado la suplementación de insectos en las dietas de especies de peces (trucha arcoíris y lubinas), crustáceos (camarones), y aves de corral (pollos de engorda, gallinas de postura, y pavo) Los resultados obtenidos han demostrado que la suplementación es viable, ya que no se observaron efectos significativos en los estándares de producción de estas especies (Gahukar, 2016; Ribeiro *et al.*, 2018; Abro *et al.*, 2020, Shafique *et al.*, 2021).

Una de las especies con mayor enfoque en su producción para ambos propósitos es el *Tenebrio molitor*, también conocido como el gusano de harina, debido a su facilidad de producción, rápido crecimiento, y su eficiencia en conversión alimenticia (Grau *et al.*, 2017; Ribeiro *et al.*, 2018, Bordiean *et al.*, 2020).

## 2.2 Aspectos Biológicos Generales de *Tenebrio molitor*

El *Tenebrio molitor* es un artrópodo holometábolo, lo que implica que esta especie sufre una metamorfosis completa en cuatro fases: huevo, larva, pupa, e imago (ITIS, 2023). La duración del ciclo de vida de *T. molitor* se ha reportado entre 280 a 630 días, la cual varía de acuerdo con diversos factores como la alimentación, temperatura, humedad relativa, y horas luz, ya que juegan un papel importante en las diferentes etapas de desarrollo de estas (Berggreen *et al.*, 2018; Zaelor y Kitthawee, 2018; Deruytter *et al.*, 2019; Deruytter *et al.*, 2021; Deruytter *et al.*, 2022; Deruytter y Coudron, 2021; Frooninckx *et al.*, 2022; Zim *et al.*, 2022). El huevo puede tardar de 10 a 34 días para eclosionar, y durante su etapa larvaria estas pasan por 9 mudas en promedio, sin embargo, se han reportado hasta 23 mudas, lo cual lleva a que esta etapa pueda ser tan corta como 57 días o tan larga como 540 días. La etapa de pupas suele ser la más corta, con una duración de 6 a 20 días, y finalmente emergen como imagos, los cuales pueden comenzar a reproducirse a los tres días de haber eclosionado, y tienen un tiempo de vida de 16 a 173 días, en los cuales las hembras pueden oviposicionar entre 250 y 500 huevos (Ribeiro *et al.*, 2018; Tran *et al.*, 2019).

El *T. molitor* es considerado como una plaga por los productores de granos y harinas, ya que los imagos los utilizan como sustrato para oviposicionar, y permitir que las larvas se alimenten del mismo sustrato al eclosionar. El *T. molitor* es omnívoro, pero generalmente se alimenta de materiales farináceos, y son capaces de aprovechar la baja humedad de estos productos (Ribeiro *et al.*, 2018; Tran *et al.*, 2019).

Esta especie de insecto forma agrupaciones de varios individuos dentro del sustrato en el que se encuentran, y se ha observado que la formación de estos grupos incrementa la inmunidad de los individuos, comparados con individuos que se encuentran aislados o que pertenecen a grupos más pequeños (Grau *et al.*, 2017; Vigneron *et al.*, 2019). Por otro lado, un mayor número de individuos por grupo incrementa el calor metabólico emitido, mejorando así su tasa de crecimiento y sobrevivencia (Deruytter *et al.*, 2022). Sin embargo, como cualquier otra especie de producción

animal, estos beneficios son observables al mantener a la población en una densidad controlada, ya que al incrementar la densidad de individuos de manera desmedida se afecta la tasa de crecimiento y la mortalidad, lo cual se ha observado debido al incremento de la temperatura, la reducción de disponibilidad de alimento por larva, y el canibalismo (Grau *et al.*, 2017; Zaelor. y Kitthawee, 2018; Deruytter *et al.*, 2022).

### 2.3 Aspectos Productivos de *Tenebrio molitor*

El objetivo de las producciones de larvas de *Tenebrio molitor* es contar con la mayor cantidad de biomasa posible, lo que se obtiene a partir del número de larvas obtenidas al final del ciclo productivo, y del peso conjunto de las larvas. En general, se ha buscado determinar las condiciones óptimas para la crianza de las larvas de *T. molitor*, sin embargo, al ser una práctica zootécnica reciente, los procesos que intervienen en su producción no han sido estandarizados y solo algunos autores han difundido información al respecto (Maillard *et al.*, 2018).

Se ha documentado que factores como la densidad de siembra, calidad del sustrato, cantidad de horas luz, temperatura y humedad relativa, y densidad de imagos machos y hembras han demostrado tener influencia sobre la cantidad de biomasa obtenida, y la duración en su ciclo de crecimiento, sin embargo, se requieren estudios que determinen los rangos óptimos para cada escala de producción. (Berggreen *et al.*, 2018; Zaelor. y Kitthawee, 2018; Deruytter *et al.*, 2019; Deruytter y Coudron, 2021; Deruytter *et al.*, 2021; Deruytter *et al.*, 2022; Frooninckx *et al.*, 2022; Zim *et al.*, 2022).

En cuanto a factores que afectan el peso de las larvas se han descrito factores como la temperatura ambiental, la calidad del sustrato, consumo de alimento de manera individual, disponibilidad de una fuente de agua, y la densidad de siembra. De manera particular, se ha documentado que la densidad de siembra tiene un efecto sobre la temperatura ambiental, la disponibilidad de alimento, y el acceso a la fuente de agua, ya que al incrementar la densidad de siembra la temperatura ambiental aumenta debido al calor metabólico producido por las larvas, y la disponibilidad de alimento individual y de la fuente de agua disminuye (Grau *et al.*, 20117; Zaelor y Kitthawee, 2018; Deruytter y Coudron, 2021; Deruytter *et al.*, 2022).

Para obtener la mayor cantidad de biomasa posible se debe proveer de un ambiente y manejo que permitan que las larvas desarrollen un peso elevado y una tasa de sobrevivencia alta, ya que la

ineficiencia en la alimentación y condiciones de producción pueden atrasar el ciclo productivo, o tener un impacto negativo en la biomasa obtenida (Heckmann *et al.*, 2018).

Dentro de la industria de producción animal, el aprovechamiento máximo de todos los parámetros productivos de las diversas especies que son utilizadas representaría una gran ventaja al abastecimiento de la población. Sin embargo, para poder llegar a altos niveles de producción se debe ocupar de herramientas diseñadas para lograr que los animales presenten el fenotipo deseado de manera uniforme, y asegurar que las características de interés de las especies se conserven en cada generación (Bordiean *et al.*, 2020). Una de las herramientas que logran estos objetivos es el mejoramiento genético animal, el cual se lleva a cabo en los núcleos genéticos de la pirámide de producción y viaja de manera descendente a las granjas de multiplicación y comercialización.

La aplicación de programas de mejoramiento genético aumenta los parámetros productivos de las especies de manera permanente y acumulativa a través de las generaciones, lo que conlleva una mayor eficiencia económica para los productores (Simm *et al.*, 2021). Estos programas se llevan a cabo en las condiciones ambientales óptimas de cada especie para observar las características de interés sin influencia externa o efectos confundidos, por lo que, en el caso del *T. molitor*, es necesario estudiar aquellas condiciones ambientales que enmascaran las características de interés que contribuyen a la obtención de biomasa como la densidad, ya que no considerar su efecto en los núcleos genéticos complicaría establecer criterios reales para la selección y/o eliminación de animales (Van Huis *et al.*, 2017).

#### 2.4 Programas de mejoramiento genético en la entomocultura

Para poder establecer un programa de mejoramiento genético se debe entender de manera profunda el objetivo de producción, ya que con base en este se establecerá el objetivo de selección, que son las características, que se busca mejorar en la población.

El objetivo de selección de una producción de insectos comestible es la biomasa, por lo que se busca mejorar aquellas características que resulten en una mayor cantidad de biomasa al final de ciclo productivo. A estas características se les conoce como criterios de selección, y son influenciadas por el genotipo y por las condiciones ambientales en las que se encuentran (Hutu *et al.*, 2020). De manera general, en la producción de *T. molitor* el peso de las larvas, y su sobrevivencia han sido establecidos como los criterios de selección. Conocer la magnitud del



efecto que el manejo representa en la expresión fenotípica de los criterios de selección permite optimizar la selección de reproductores para la siguiente generación, incrementando la probabilidad de escoger los individuos con mayor valor genético (Simm *et al.*, 2021).

Los programas de mejoramiento genético animal se llevan a cabo dentro de granjas especializadas conocidas como núcleos genéticos, los cuales forman parte de los sistemas de producción animal. Es a partir de estos núcleos genéticos que se diseminan los avances obtenidos del mejoramiento genético animal hacia las siguientes etapas de producción, hasta llegar a los consumidores.

## 2.5 Estructura de sistemas de producción

De manera general, las producciones de animales son descritas de manera piramidal, en donde poblaciones élites se encuentran en la cima (núcleo genético), las granjas multiplicadoras son los eslabones intermediarios, y en la base de la pirámide se encuentran los productores comerciales, de las cuales se obtiene el producto final para los consumidores. Debido a que cada eslabón de la pirámide cumple con un objetivo en particular, el éxito que se obtiene con este modelo de producción son animales con mayor eficiencia productiva, menores costos de producción, y mayor accesibilidad de los productos a los consumidores (Simm *et al.*, 2021).

### 2.5.1 Núcleos Genéticos

Los núcleos genéticos cuentan con animales caracterizados por su alto valor genético en los criterios de selección de la especie en particular, y serán utilizados para producir la siguiente generación de reproductores. Para lograr avances del valor genético de los animales a través de las generaciones, los núcleos genéticos aplican programas de mejoramiento genético adecuados para su especie de producción (Hutu *et al.*, 2020).

De manera general, los núcleos genéticos pueden contar con programas de mejoramiento genético de ciclo abierto o ciclo cerrado. En un programa de ciclo abierto, los productores introducen nuevo material genético durante el ciclo productivo con el fin de obtener crías de alto valor genético que puedan diseminar sus genes dentro de la población. Este tipo de ciclo es más común en especies como bovinos, equinos, ovinos, y caprinos (Hutu *et al.*, 2020). En los programas de ciclo cerrado no se permite la adición de animales o material genético durante el ciclo productivo, por lo que se establecen los reproductores antes de comenzar el ciclo. Las producciones que utilizan el programa

de ciclo cerrado generalmente son aquellas que producen cerdos y aves (Hutu *et al.*, 2020; Simm *et al.*, 2021).

### 2.5.2 Multiplicadoras

Las granjas multiplicadoras son el siguiente eslabón de la pirámide de producción, por debajo de los núcleos genéticos. Estas granjas reciben la descendencia producida en los núcleos genéticos con el fin de realizar reproducciones para incrementar la cantidad de animales con alto valor genético en los criterios de selección deseados. (Simm *et al.*, 2021). Generalmente las granjas multiplicadoras mantienen la pureza de las especies que trabajan, sin embargo, en especies como el cerdo, pueden llevar a cabo cruzamientos de raza para ser llevados directamente a su comercialización (Simm *et al.*, 2021).

### 2.5.3 Granjas Comerciales

Las granjas comerciales son aquellas que obtienen animales de las granjas multiplicadoras, y su objetivo es producir alimentos de origen animal que serán integrados a la cadena de consumo para la población. Generalmente estas granjas mantienen a su población de animales utilizando animales que se producen dentro de la misma granja, introduciendo nuevo material genético de las granjas multiplicadoras de una manera controlada con el fin de evitar una reducción en la calidad genética de los criterios de selección de cada especie, y así mismo incrementar la calidad genética a través de las generaciones (Simm *et al.*, 2021). La mayor parte de estas granjas se encargan de la producción de sus animales de principio a término, contando con áreas en donde se llevan a cabo las tareas apropiadas de la especie a producir. Un ejemplo de esto se puede observar en las granjas productoras de carne, las cuales podrían contar con áreas de reproducción, maternidad, engorda, finalización, y sacrificio, o bien, como suele observarse más en cerdos, cada etapa de producción se podría llevar a cabo en granjas distintas (Hutu *et al.*, 2020).

En cuestión de insectos comestibles, se tiene conocimiento de granjas comerciales de especies como la mosca soldado negra, el grillo doméstico, el gusano de seda domesticado, el gusano de la palma, y gusanos de harina, sin embargo, las granjas multiplicadoras o núcleos genéticos son escasas. Cabe resaltar que en la producción de *T. molitor*, únicamente la empresa francesa Ynsect (2022) ha anunciado el desarrollo de un programa de selección genómica a través de herramientas

para el fenotipado y genotipado en la producción de insectos. Este proyecto de mejoramiento genético (YNFABRE) tiene como objetivo la selección de familias de escarabajos con una alta tasa de crecimiento, y más resistentes a factores ambientales, y enfermedades, el cumplimiento del objetivo de YNFABRE otorgaría a Ynsect el potencial de convertirse en el primer núcleo genético documentado para insectos.

### 3. Antecedentes

La densidad de siembra de los gusanos de harina ha sido estudiada en el contexto de la producción para su comercialización, de manera en que la información obtenida de estos estudios se podría utilizar para establecer un estándar en su producción. Estas investigaciones se han enfocado en optimizar los procesos productivos para la obtención de biomasa de alto valor comercial, es decir, una gran cantidad de larvas grandes con un alto valor nutricional en el menor tiempo e inversión posible.

Para obtener una biomasa de alto valor, la densidad de larvas de tenebrios debe considerarse a razón de balancear el espacio requerido para su alojamiento, así como la conversión alimenticia que se obtiene, debido a que de manera general se ha observado que la conversión alimenticia de larvas disminuye en un 22% al incrementar 8 veces una densidad de 12 larvas por  $\text{dm}^2$  (Grau *et al.*, 2017; Connat *et al.*, 1991; Morales-Ramos *et al.*, 2012; Morales-Ramos y Rojas, 2015; Tschinkel y Willson, 1971; Weaver y McFarlane, 1990, citado por Ribeiro *et al.*, 2018). Asimismo, se ha observado que manteniendo la densidad entre 7.38 larvas por  $\text{cm}^2$  y 14.04 larvas por  $\text{cm}^2$  las incidencias de canibalismo son mínimas, o inexistentes, y densidades mayores a la de 14.04 larvas por  $\text{cm}^2$  incrementa las observaciones de canibalismo (Ribeiro *et al.*, 2018; Zaelor y Kitthawee, 2018).

En la búsqueda de la densidad óptima para la producción de larvas de *T. molitor* se ha tomado en consideración factores como el espacio disponible en tres dimensiones (largo, ancho, y altura), la uniformidad del sustrato disponible, y la temperatura metabólica producida por las larvas, y han concluido que la densidad óptima para la producción comercial o semi-industrializada de larvas de *T. molitor* podría estar entre 5 y 14 larvas por  $\text{cm}^2$  (Zaelor y Kitthawee, 2018; Deruytter y

Coudron, 2021; Deruytter *et al.*, 2022). Sin embargo, no se tiene conocimiento del efecto que la densidad tiene sobre el peso y la sobrevivencia dentro de un núcleo de *T. molitor*, por lo que determinar la densidad óptima en un núcleo genético resulta de interés para ser integrado en un programa de mejoramiento genético animal, y así mejorar la producción de larvas.

#### **4. Objetivo General**

Evaluar el efecto de la densidad de siembra sobre el peso y sobrevivencia de larvas de *Tenebrio molitor* en un núcleo genético.

#### **5. Objetivos Específicos**

- Determinar el efecto de la densidad de siembra en el peso a los 130 días post-apareamiento en larvas de *Tenebrio molitor*.
- Determinar el efecto de la densidad de siembra en la sobrevivencia de las larvas sembradas en distintas densidades a partir del día 30 hasta los 130 días post-apareamiento en larvas de *Tenebrio molitor*.

#### **6. Hipótesis**

La densidad de siembra tendrá un efecto estadísticamente significativo en el peso y la sobrevivencia de larvas de *Tenebrio molitor* en un núcleo genético.

#### **7. Material y Métodos**

##### 7.1 Población

Se utilizó una población de larvas de *Tenebrio molitor*, provenientes de la población de conservación del núcleo genético ubicado en el Laboratorio de Sistemas Acuícolas de la

Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco, bajo condiciones ambientales controladas establecidas en un protocolo estándar de cría en laboratorio (protocolo de mantenimiento), con temperatura promedio de 25°C, 70% de humedad relativa y fotoperiodo 12:12 (luz-oscuridad). La alimentación consistió en harina y salvado de trigo como sustrato, y lechuga como fuente de agua, ofrecida dos veces por semana.

## 7.2 Formación de Familias

Para la formación de las familias, se utilizaron larvas en los últimos estadios de desarrollo y fueron conservadas en condiciones de mantenimiento hasta su desarrollo como pupas. Una vez que los organismos puparon, se colocaron en cámaras de metamorfosis individual (recipientes plásticos con dimensiones de 1.8 cm de largo x 1.2 cm de ancho), para poder ser sexados y evitar apareamientos no deseados. Permanecieron en estas cámaras por aproximadamente 15 días, con el objetivo de permitir su eclosión y desarrollo a imagos. Una vez que los reproductores llegaron a la madurez sexual fueron colocados en cámaras de apareamiento por 48 horas (recipientes plásticos con dimensiones de 10 cm de largo x 10 cm de ancho), en una proporción macho:hembra 1:1. Después de las 48 horas los imagos fueron trasladados a una segunda cámara de apareamiento por 48 horas, permaneciendo con la misma pareja. La alimentación consistió en harina de trigo y lechuga como fuente de agua, ofrecida dos veces por semana. El objetivo de apareamiento fue la formación de 90 familias con una cantidad mínima de 30 huevos por familia, por lo que nuevas parejas eran formadas en intervalos de 14 días para poder garantizar la obtención de 90 familias.

Una vez terminado el periodo de apareamiento los imagos fueron retirados, y los recipientes fueron cernidos para la recuperación y conteo de huevecillos. Las familias que no obtuvieron 30 huevos o más fueron eliminadas. Los huevecillos fueron devueltos a las cámaras de apareamiento y se conservaron en condiciones de mantenimiento por 30 días para permitir la eclosión y desarrollo de las primeras etapas larvarias.

Las larvas fueron recuperadas y contadas a los 30 días post apareamiento, y se eliminaron a las familias con menos de 30 larvas por familia. Las larvas de las familias que cumplían con 30 larvas fueron sembradas en corrales de engorda (recipientes de plásticos con dimensiones de 10 cm de largo x 10 cm de ancho), en densidades de 5, 10, y 15 larvas por familia por dm<sup>2</sup>. Debido al número de familias que fueron eliminadas por periodo de apareamiento se requirió la formación de dos

lotes, los cuales fueron sembrados con una diferencia de 7 días entre el lote 1 y el lote 2. El lote 1 consistió en 7 familias, y el lote 2 contó con 13 familias. Cada lote se mantuvo en los corrales de engorda por 100 días para continuar su desarrollo. En la etapa de engorda la alimentación consistió en salvado de trigo, y lechuga como fuente de agua, ofrecida dos veces por semana.

### 7.3 Obtención de Datos

Para la obtención del peso a los 130 días post-apareamiento, las larvas de cada grupo familiar fueron pesadas de manera individual utilizando una báscula digital.

La sobrevivencia se determinó como la diferencia entre el número de larvas sembradas a los 30 días post-apareamiento y el número de larvas recuperadas a los 130 días post-apareamiento, donde se asignó el valor de 0 a cada larva muerta, y el valor de 1 a cada larva viva.

### 7.4 Análisis Estadístico

Para el análisis estadístico se utilizó un modelo de análisis de varianza de un factor, para cada variable, a partir del programa estadístico JMP (JMP®, Versión 16 Pro. SAS Institute Inc., Cary, NC, 1989–2023). La significancia del efecto de la densidad se determinó a partir del valor de probabilidad con un nivel de confianza del 95%.

El modelo ANOVA se presenta a continuación:

$$y_{ij} = \mu + D_i + L_j + \varepsilon_{ij}$$

Donde  $y_{ij}$  es la variable de respuesta (peso a los 130 días post-apareamiento o sobrevivencia a los 130 días post-apareamiento),  $\mu$  es la media,  $D_i$  es el efecto de la densidad,  $L_j$  es el efecto del lote, y  $\varepsilon_{ij}$  son los efectos residuales.

## 8. Resultados

Se obtuvieron 600 registros de peso y sobrevivencia de larvas, correspondientes a los lotes 1 y 2 (Población en General), la estadística descriptiva se presenta en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Estadística Descriptiva de Peso y Sobrevivencia de la Población en General

Característica	N	Media±D.E	Min.	Máx.	CV(%)
Peso (mg)	569	77.18±44.34	5	200	57.44
Sobrevivencia (%)	60	96±0.6	80	100	6.4

El efecto de la densidad fue significativo para el peso de los organismos ( $p=0.013$ ), mientras que el efecto de lote fue significativo para peso y sobrevivencia ( $p<0.0001$ ,  $p=0.008$  respectivamente). El Cuadro 2 presenta la estadística descriptiva correspondientes al peso y sobrevivencia por densidad de la población en general.

Cuadro 2. Estadística Descriptiva de Peso y Sobrevivencia por Densidad

Densidad	N	Media±D.E	Min.	Máx.	CV(%)
<i>Peso (mg)</i>					
5	95	87.63±51.47	10	200	58.73
10	188	78.97±46.32	9	180	58.66
15	286	72.53±39.70	5	181	54.74
<i>Sobrevivencia (%)</i>					
5	20	98±0.6	80	100	6.28
10	20	95±0.6	80	100	6.39
15	20	96±0.6	80	100	6.47

D.E Desviación Estándar; Min=Mínimo; Máx=Máximo; CV=Coficiente de Variación.

Las medias mínimo cuadráticas  $\pm$  el error estándar obtenidas del modelo estadístico para el peso en la densidad de 5, 10, y 15 larvas fueron de  $80.59\pm3.71$ ,  $70.44\pm2.67$ , y  $63.93\pm2.1$ , respectivamente, habiendo diferencia significativa entre la densidad de 5 y 15 larvas.

## 9. Discusión

### 9.1 Efecto de la Densidad sobre el Peso

Los resultados obtenidos mostraron una diferencia significativa ( $p=0.013$ ) en el peso de las larvas entre las densidades de 5 y 15 larvas (0.5 larvas por  $\text{cm}^2$  y 1.5 larvas por  $\text{cm}^2$ , respectivamente) siendo las larvas en densidad de 5 las que obtuvieron un mayor peso. Estos resultados no coinciden con lo reportado por Zim *et al.* (2022), donde las larvas sembradas con una mayor densidad (1.5 larvas por  $\text{cm}^2$ ) obtuvieron un mayor peso en comparación con las larvas sembradas en menor densidad (0.25 larvas por  $\text{cm}^2$ ). En especies de producción como los bovinos, cerdos, y aves, se ha observado que en densidad tiene efecto sobre su conversión alimenticia, siendo favorecida en densidades bajas, sin embargo, en el caso de *T. molitor*, el calor metabólico producido por las larvas favorece su tasa de conversión alimenticia, por lo que ajustar la densidad de siembra de manera en que la temperatura de los recipientes se mantenga a  $31^\circ\text{C}$  presenta una mejora en su tasa de crecimiento (Bjørge *et al.*, 2018; Deruytter *et al.*, 2022).

Por otro lado, Zaelor y Kitthawee (2018) reportaron no haber encontrado efectos en el crecimiento de las larvas entre densidades de 7.38 larvas por  $\text{cm}^2$  y 14 larvas por  $\text{cm}^2$ , sin embargo, cabe mencionar que en su estudio las larvas eran cambiadas de contenedores cada tres días, por lo que recibieron sustrato nuevo un total de 5 ocasiones. La ausencia del efecto de la densidad en la investigación de Zaelor y Kitthawee (2018) puede responderse por los hallazgos obtenidos en otro estudio realizado por Deruytter y Coudron (2021), donde encontraron que los efectos de la densidad entre 0.6 y 10.4 larvas por  $\text{cm}^2$  son limitadas al mantener el volumen del sustrato de manera uniforme. Cabe mencionar que para el presente trabajo no se les adicionó a las larvas más sustrato de la inicial.

### 9.2 Efecto de la Densidad sobre la Sobrevivencia

La densidad de siembra no mostró tener un efecto significativo sobre la sobrevivencia, y se encontró dentro de los porcentajes reportados por Deruytter *et al.* (2022) en densidades de 0.5, 1, 2, 4, 8, 16, y 32 larvas por  $\text{cm}^2$  (95% de sobrevivencia en promedio). En otro estudio Deruytter y Coudron (2021) habían reportado que la densidad sí tenía un efecto en la sobrevivencia de las larvas al aumentar la densidad de las larvas, disminuyendo la cantidad de disponibilidad de



sustrato. Es posible que cambiar el sustrato de las larvas cada determinado tiempo tenga un efecto en su sobrevivencia, ya que Zaelor y Kitthawee (2018) obtuvieron una sobrevivencia de 100% en la densidad de 7.38 y 14 larvas por  $\text{cm}^2$ , sin embargo, Deruytter y Coudron (2021) obtuvieron una sobrevivencia promedio de 87% en su segundo experimento, con las mismas densidades de larvas por  $\text{cm}^2$ , pero manteniendo el volumen del sustrato a lo largo del experimento, por lo que le atribuyeron una mayor mortalidad a un mayor manejo de las larvas.

### 9.3 Efecto del Lote sobre Peso y Sobrevivencia

Como tercer efecto se analizó el lote al que pertenecían las larvas, y se encontró diferencias significativas en el peso y en la sobrevivencia ( $p < 0.0001$ ) y  $p = 0.007$ , respectivamente).

Esto es de interés debido a que la interacción de otros factores no estudiados en el presente trabajo representa un efecto significativo en los resultados de peso y sobrevivencia, los cuales podrían actuar de manera separada, o en conjunto con la densidad.

Deruytter *et al.* (2022) encontraron una relación entre la densidad de siembra y la altura del sustrato, donde en densidades bajas las larvas crecían mejor con un nivel de sustrato alto, y en densidades altas sucedía lo contrario, sin embargo, las larvas en densidad bajas obtuvieron una mejor tasa de crecimiento en comparación con las densidades elevadas. En el mismo estudio encontraron una correlación positiva significativa entre la densidad y la temperatura de los contenedores de las larvas. La temperatura óptima para el crecimiento de las larvas ha sido reportada de  $31^\circ\text{C}$  Bjørge *et al.* (2018). El volumen del sustrato y la temperatura son variables que no fueron medidas en el presente trabajo.

Por otro lado, Deruytter *et al.* (2021) encontraron efectos significativos en el crecimiento de las larvas por la disponibilidad de alimento húmedo, y argumentan que el agar es un alimento húmedo de mejor aprovechamiento, ya que retiene mayor cantidad de agua y no aporta nutrientes adicionales a las larvas, en comparación con vegetales. Su estudio encontró 18 veces menos biomasa que la anticipada en las zonas donde el alimento húmedo se encontraba a más de 5 cm de distancia de las larvas. Asimismo, mencionan que debido al menor crecimiento de las larvas retiradas del alimento húmedo éstas se mantienen en la misma área para su alimentación, degradando la calidad del sustrato, e incrementando la cantidad de excremento, contribuyendo así a su menor crecimiento de manera general. Por último, concluyen que al tener una mejor

distribución de la fuente de agua se podría incrementar la densidad máxima óptima para la crianza de larvas de *T. molitor*. El alimento húmedo proporcionado como fuente de agua en el presente trabajo consistió en lechuga suministrada dos veces por semana, y al no haber mantenido la variable controlada, la posibilidad de que la disponibilidad de la fuente de agua estuviera limitada para algunas larvas es posible, asimismo, la deshidratación de la lechuga disminuiría la cantidad de agua que las larvas disponían del alimento.

## 10. Conclusiones

En conclusión, los resultados del presente estudio indican que, bajo condiciones establecidas en un protocolo estándar de cría en laboratorio, la densidad de siembra entre 5 y 15 larvas por cm<sup>2</sup> tiene un efecto significativo en el peso de las larvas, pero no tiene un efecto en su sobrevivencia.

## 11. Literatura Citada

1. Abro, Z., Kassie, M., Tanga, C., Beesigamukama, D., & Diiro, G. (2020). Socio-economic and environmental implications of replacing conventional poultry feed with insect-based feed in Kenya. *Journal of Cleaner Production*, 265, 121871. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121871>
2. Berggreen, I. E., Offenbergs, J., Calis, M., & Heckmann, L.-H. (2018). Impact of density, reproduction period and age on fecundity of the yellow mealworm *Tenebrio Molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae). *Journal of Insects as Food and Feed*, 4(1), 43–50. <https://doi.org/10.3920/jiff2017.0013>
3. Bjørge, J. D., Overgaard, J., Malte, H., Gianotten, N., & Heckmann, L.-H. (2018). Role of temperature on growth and metabolic rate in the tenebrionid beetles *Alphitobius Diaperinus* and *Tenebrio Molitor*. *Journal of Insect Physiology*, 107, 89–96. <https://doi.org/10.1016/j.jinsphys.2018.02.010>

4. Bordiean, A., Krzyżaniak, M., Stolarski, M. J., Czachorowski, S., & Peni, D. (2020). Will Yellow Mealworm become a source of safe proteins for Europe. *Agriculture*, 10(6), 233. <https://doi.org/10.3390/agriculture10060233>
5. D'Agaro, E. (2017). New Advances in NGS Technologies. *Trends and Advances in Veterinary Genetics*. <https://doi.org/10.5772/66924>
6. Davis, G. R. F., & Sosulski, F. W. (1974). Nutritional Quality of Oilseed Protein Isolates as Determined with Larvae of the Yellow Mealworm, *Tenebrio molitor* L. *The Journal of Nutrition*, 104(9), 1172–1177. doi:10.1093/jn/104.9.1172
7. Deruytter, D., & Coudron, C. L. (2021). The effects of density on the growth, survival, and feed conversion of *Tenebrio molitor* larvae. *Journal of Insects as Food and Feed*, 8(2), 141–146. <https://doi.org/10.3920/jiff2021.0057>
8. Deruytter, D., Coudron, C. L., & Claeys, J. (2022). The effects of density on the growth and temperature production of *Tenebrio molitor* larvae. *Sustainability*, 14(10), 6234. <https://doi.org/10.3390/su14106234>
9. Deruytter, D., Coudron, C. L., & Claeys, J. (2021). The influence of wet feed distribution on the density, growth rate and growth variability of tenebrio molitor. *Journal of Insects as Food and Feed*, 7(2), 141–149. <https://doi.org/10.3920/jiff2020.0049>
10. Deruytter, D., Coudron, C. L., & Teerlinck, S. (2019). Influence of crate size, oviposition time, number of adults and cannibalism on the reproduction of *Tenebrio molitor*. *Journal of Insects as Food and Feed*, 5(4), 247–255. <https://doi.org/10.3920/jiff2019.0018>
11. FAO. (2021). Looking at edible insects from a food safety perspective. Challenges and opportunities for the sector. Rome. <https://doi.org/10.4060/cb4094en>
12. Froninckx, L., Berrens, S., Van Peer, M., Wuyts, A., Broeckx, L., & Van Miert, S. (2022). Determining the effect of different reproduction factors on the yield and hatching of *Tenebrio Molitor* eggs. *Insects*, 13(7), 615. <https://doi.org/10.3390/insects13070615>
13. Grau, T., Vilcinskas, A., & Joop, G. (2017). Sustainable farming of the mealworm *Tenebrio molitor* for the production of food and feed. *Zeitschrift Für Naturforschung C*, 72(9-10), 337–349. <https://doi.org/10.1515/znc-2017-0033>
14. Heckmann, L. H., Andersen, J. L., Gianotten, N., Calis, M., Fischer, C. H., & Calis, H. (2018). Sustainable Mealworm Production for Feed and Food. In A. Halloran, R. Flore, P.

- Vantomme, & N. Roos (Eds.), *Edible Insects in Sustainable Food Systems* (pp. 321–328). Springer.
15. Hutu, I., Oldenbroek, K., & van der Waaij, L. (2020). The Structure of Breeding Systems. En *Animal Breeding and Husbandry*, Agroprint (pp. 370–437). Timisoara.
  16. Maillard, F., Macombe, C., Aubin, J., Romdhana, H., & Mezdour, S. (2018). Mealworm Larvae Production Systems: Management Scenarios. In A. Halloran, R. Flore, P. Vantomme, & N. Roos (Eds.), *Edible insects in Sustainable Food Systems* (pp. 227–328). Springer.
  17. Herrera-Soto, I. A., Zepeda Bastida, A., Soto-Simental, S., Ocampo López, J., & Ayala Martínez, M. (2020). Producción y Usos de *Tenebrio molitor*. *Boletín De Ciencias Agropecuarias Del ICAP*, 6(12), 1–4. <https://doi.org/10.29057/icap.v6i12.5712>
  18. Orkusz, A. (2021). Edible insects versus meat—nutritional comparison: Knowledge of their composition is the key to good health. *Nutrients*, 13(4), 1207. <https://doi.org/10.3390/nu13041207>
  19. Payne, C. L., Scarborough, P., Rayner, M., & Nonaka, K. (2015). Are edible insects more or less ‘healthy’ than commonly consumed meats? A comparison using two nutrient profiling models developed to combat over- and undernutrition. *European Journal of Clinical Nutrition*, 70(3), 285–291. <https://doi.org/10.1038/ejcn.2015.149>
  20. Ribeiro, N., Abelho, M., & Costa, R. (2018). A review of the scientific literature for optimal conditions for mass rearing *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae). *Journal of Entomological Science*, 53(4), 434–454. <https://doi.org/10.18474/jes17-67.1>
  21. Ritchie, H. (2017). How much of the world's land would we need in order to feed the global population with the average diet of a given country? *Our World in Data*. Retrieved April 11, 2023, from <https://ourworldindata.org/agricultural-land-by-global-diets>
  22. Shafique, L., Abdel-Latif, H. M., Hassan, F., Alagawany, M., Naiel, M. A., Dawood, M. A., Yilmaz, S., & Liu, Q. (2021). The feasibility of using yellow mealworms (*Tenebrio Molitor*): Towards a sustainable aquafeed industry. *Animals*, 11(3), 811. <https://doi.org/10.3390/ani11030811>
  23. Simm, G., Pollott, G., Mrode, R. A., Houston, R., & Marshall, K. (2021). Strategies for genetic improvement. En *Genetic improvement of farmed animals* (pp. 59–65). CABI

24. *Tenebrio molitor* Linnaeus (1758). Recuperado el día 1 de Febrero del 2023 de la base de datos en línea de Integrated Taxonomic Information System (ITIS). Disponible en: [https://www.itis.gov/servlet/SingleRpt/SingleRpt?search\\_topic=TSN&search\\_value=187243#null](https://www.itis.gov/servlet/SingleRpt/SingleRpt?search_topic=TSN&search_value=187243#null)
25. Tran G., Gnaedinger C., Mélin C., 2019. Mealworm (*Tenebrio molitor*). Feedipedia, a programme by INRAE, CIRAD, AFZ and FAO. <https://www.feedipedia.org/node/16401> Last updated on June 12, 2019, 13:29
26. Van Broekhoven, S., Oonincx, D. G. A. B., van Huis, A., & van Loon, J. J. A. (2015). Growth performance and feed conversion efficiency of three edible mealworm species (Coleoptera: Tenebrionidae) on diets composed of organic by-products. *Journal of Insect Physiology*, 73, 1–10. doi:10.1016/j.jinsphys.2014.12.005
27. Van Huis, A., Van Itterbeeck, J., Klunder, H., Mertens, E., Halloran, A., Vantomme, P., & Muir, G. (2013). Nutritional value of insects for human consumption. In *Edible insects: Future prospects for food and feed security* (pp. 67–80). essay, Food and Agriculture Organization of the United Nations.
28. Van Huis, A. van, Tomberlin, J. K., Jensen, K., Kristensen, T. N., Heckmann, L.-H. L., & Sørensen, J. G. (2018). Breeding and maintaining high-quality insects. In *Insects as food and feed: From production to consumption* (pp. 174–199). Wageningen Academic Publishers.
29. Vigneron, A., Jehan, C., Rigaud, T., & Moret, Y. (2019). Immune defenses of a beneficial pest: The mealworm beetle, *Tenebrio Molitor*. *Frontiers in Physiology*, 10. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.00138>
30. Ynsect Launches Ynfabre, the world's first industrial programme dedicated to beetle genetics (2022). Ynsect. Recuperado el día 10 de octubre del 2022. Disponible en: <https://www.ynsect.com/2022/01/26/ynsect-launches-ynfabre-the-worlds-first-industrial-programme-dedicated-to-beetle-genetics/>
31. 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. <https://doi.org/10.1016/j.anres.2018.11.004>

32. Zim, J., Sarehane, M., Mazih, A., Lhomme, P., Elaini, R., & Bouharroud, R. (2022). Effect of population density and photoperiod on larval growth and reproduction of *Tenebrio Molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae). *International Journal of Tropical Insect Science*, 42(2), 1795–1801. <https://doi.org/10.1007/s42690-021-00707-0>