

## **AGRADECIMIENTO**

A la eterna paciencia, arduo trabajo y amor de mi familia, amigos y profesores.



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO**

**FACULTAD DE QUÍMICA**

**“EVALUACIÓN DE DIETAS ARTIFICIALES PARA LA CRÍA  
DE *Tenebrio molitor* (COLEOPTERA: TENEBRIONIDAE)  
BAJO CONDICIONES CONTROLADAS PARA  
ELABORACIÓN DE HARINA RICA EN PROTEÍNA”**

**TESIS**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

**INGENIERO AGROQUÍMICO**

PRESENTA

**JORGE ANDRÉS RESÉNDIZ MELGOZA**

DIRIGIDA POR

**Dr. MIGUEL ANGEL RAMOS LÓPEZ**

SANTIAGO DE QUERÉTARO, QUERÉTARO, 2023.



Dirección General de Bibliotecas y Servicios Digitales  
de Información



Evaluación de dietas artificiales para la cría de  
Tenebrio molitor (COLEOPTERA: TENEBRIONIDAE)  
bajo condiciones controladas para elaboración de  
harina rica en proteína

**por**

Jorge Andrés Reséndiz Melgoza

se distribuye bajo una [Licencia Creative Commons  
Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).

**Clave RI:** FQLIN-267730



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO**

**FACULTAD DE QUÍMICA**

**“EVALUACIÓN DE DIETAS ARTIFICIALES PARA LA CRÍA  
DE *Tenebrio molitor* (COLEOPTERA: TENEBRIONIDAE)  
BAJO CONDICIONES CONTROLADAS PARA  
ELABORACIÓN DE HARINA RICA EN PROTEÍNA”**

**TESIS**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

**INGENIERO AGROQUÍMICO**

PRESENTA

**C. JORGE ANDRÉS RESÉNDIZ MELGOZA**

DIRIGIDA POR

**Dr. MIGUEL ANGEL RAMOS LÓPEZ**

**SINODALES**

**DR. MIGUEL ANGEL RAMOS LÓPEZ**  
DIRECTOR

**DR. CARLOS EDUARDO ZAVALA GOMEZ**  
SINODAL

**DR. JUAN ANTONIO VALENCIA HERNÁNDEZ**  
SINODAL

**DR. ALDO AMARO REYES**  
SINODAL

## ÍNDICE GENERAL

| Contenido  | Página |
|--|--------|
| ÍNDICE GENERAL   | i      |
| ÍNDICE DE CUADROS  | iv     |
| ÍNDICE DE FIGURAS  | v      |
| RESUMEN  |        |
| 1. ANTECEDENTES  | 2      |
| 1.1 Importancia de los insectos                          | 2      |
| 1.2 Importancia de los insectos en la agricultura        | 3      |
| 1.3 Reproducción de insectos en condiciones artificiales | 3      |
| 1.3.1 Reproducción con dieta natural                     | 5      |
| 1.3.2 Reproducción con dieta artificial                  | 5      |
| 1.4 Matriz Alimenticia                                   | 6      |
| 1.4.1 Minerales  | 8      |
| 1.4.2 Vitaminas  | 8      |
| 1.4.3 Carbohidratos                                      | 9      |
| 1.4.4 Lípidos  | 9      |
| 1.4.5 Esteroles  | 9      |
| 1.4.6 Aminoácidos  | 9      |
| 1.5 <i>Tenebrio molitor</i> (Coleoptera: Tenebrionidae)  | 10     |
| 1.5.1 Biología   | 10     |
| 1.5.2 Ciclo biológico                                    | 11     |
| 1.5.3 Importancia económica                              | 13     |

|                                    |    |
|------------------------------------|----|
| 1.5.4 Contenido nutrimental        | 13 |
| 1.6 Técnicas de encapsulado        | 16 |
| 1.6.1 Materiales del núcleo        | 18 |
| 1.6.2 Materiales de la membrana    | 18 |
| 1.6.3 Procesos de encapsulación    | 18 |
| 1.6.3.1 Polimerización interfacial | 19 |
| 1.6.3.2 Secado por aspersión       | 20 |
| 1.6.3.3 Extrusión                  | 20 |
| 1.6.3.4 Coacervación simple        | 20 |
| 2. HIPÓTESIS                       | 22 |
| 3. OBJETIVOS                       | 23 |
| 3.1 Objetivo general               | 23 |
| 3.2 Objetivos específicos          | 23 |
| 4. METODOLOGÍA                     | 24 |
| 4.1 Material                       | 24 |
| 4.2 Métodos                        | 24 |
| 4.2.1 Montaje de cría              | 24 |
| 4.2.2 Dieta control                | 25 |
| 4.2.3 Dieta microencapsulada       | 25 |
| 4.2.4 Dieta gelificada             | 26 |
| 4.2.5 Prueba de dietas             | 26 |
| 4.2.6 Elaboración de harina        | 27 |
| 4.2.7 Análisis estadístico         | 28 |

|  |    |
|--|----|
| 5. RESULTADOS                              | 29 |
| 5.1 Incremento del peso larvario           | 29 |
| 5.2 Índice de Conversión Alimentaria (ICA) | 30 |
| 5.3 Análisis proteínico                    | 31 |
| 5.4 Materia seca                           | 32 |
| 5.5 Mortalidad larvaria                    | 34 |
| 6. DISCUSIÓN                               | 34 |
| 6.1 Incremento del peso larvario           | 34 |
| 6.2 Índice de Conversión Alimentaria       | 34 |
| 6.3 Contenido proteínico                   | 34 |
| 6.4 Materia seca                           | 35 |
| 6.5 Mortalidad larvaria                    | 35 |
| 7. CONCLUSIONES                            | 37 |
| 8. REFERENCIAS                             | 38 |

## ÍNDICE DE CUADROS

| Cuadro   | Página |
|--|--------|
| 1. Taxonomía de <i>Tenebrio molitor</i>  | 10     |
| 2. Valores nutrimentales de <i>Tenebrio molitor</i>                            | 14     |
| 3. Aminoácidos presentes en <i>Tenebrio molitor</i>                            | 14     |
| 4. Comparativa nutrimental de <i>Tenebrio molitor</i>                          | 15     |
| 5. Comparativa de aminoácidos esenciales en <i>Tenebrio molitor</i>            | 15     |
| 6. Comparativa de aminoácidos no esenciales en <i>Tenebrio molitor</i>         | 16     |
| 7. Materiales, equipos y reactivos   | 24     |
| 8. Incremento de peso (g) de larvas de <i>Tenebrio molitor</i>                 | 30     |
| 9. Índice de Conversión Alimentaria (ICA) de larvas de <i>Tenebrio molitor</i> | 31     |
| 10. Diferencial de peso (g) en 100 días de larvas de <i>Tenebrio molitor</i>   | 31     |
| 11. Contenido de nitrógeno y conversión proteica en harina de <i>Tenebrio</i>  | 32     |
| 12. Contenido de humedad y materia seca en harina de <i>Tenebrio molitor</i>   | 33     |
| 13. Porcentaje de supervivencia larval de <i>Tenebrio molitor</i>              | 33     |

## ÍNDICE DE FIGURAS

| Figura   | Página |
|--|--------|
| 1. Estimación global de emisiones por explotación por especie    | 4      |
| 2. Diferencia de dietas según su contenido de agua               | 8      |
| 3. Ciclo biológico <i>Tenebrio molitor</i>                       | 11     |
| 4. Fases inmaduras de <i>Tenebrio molitor</i>                    | 12     |
| 5. Adulto de <i>Tenebrio molitor</i>                             | 12     |
| 6. Microcápsula  | 17     |
| 7. Procesos de microencapsulación                                | 19     |
| 8. Coacervación simple   | 21     |
| 9. Crecimiento larval por tratamiento de <i>Tenebrio molitor</i> | 29     |
| 10. Harina de <i>Tenebrio molitor</i>                            | 32     |

## RESUMEN

En el presente trabajo se desarrollaron dos dietas artificiales, evaluando su potencial sobre la dieta tradicional utilizada en la crianza masiva de *Tenebrio molitor*. Formando para este propósito 3 colonias de 90 larvas de primer a quinto instar. Suministrando a cada colonia un tratamiento designado durante 100 días: a) dieta control: zanahoria fresca, b) dieta microencapsulada: matriz alimenticia de trigo, zanahoria y levadura y c) dieta gelificada a base de trigo, zanahoria y levadura, usando como agente texturizante agar. De manera continua se llevó el control del alimento suministrado y el consumido, así como del peso larvario el cual se registró en intervalos de 10 días. Transcurrido el bioensayo los parámetros evaluados para determinar la eficiencia de cada tratamiento fueron el incremento de peso larvario, la supervivencia y el índice de conversión alimentaria (ICA). Finalizando el bioensayo, si bien la dieta microencapsulada presento un contenido proteico similar al de la dieta control, 65.28 y 64.77 % respectivamente, las microcápsulas presentaron los resultados con mayor potencial como dieta para *T. molitor*, al mostrar un incremento de peso 75 % superior con respecto al control y un 31.5 % con la dieta gelificada al cabo de los 100 días de experimentación, además de ser necesario 2.9 y 4.7 Kg menos de dieta con respecto al control y la gelificación respectivamente. Finalmente, la supervivencia no mostró diferencia significativa entre tratamientos.

## INTRODUCCIÓN

Es innegable el papel clave que tienen los insectos en la agricultura, no solo como polinizadores de los cultivos, sino como plagas capaces de diezmar cosechas enteras, por lo que se ha buscado el aprovechamiento de especies perjudiciales como fuentes alternativas de proteína. Tal es el caso de *Tenebrio molitor* o gusano de harina, el cual, al ser una plaga constante en granos almacenados y al atacar cultivos básicos, como soya, maíz y trigo. Sin embargo, gracias a que está compuesto entre el 60 y el 70 % por proteína, vitaminas y minerales ha comenzado a ser una de las opciones más viables para la obtención de proteína tanto para animales como para humanos. Quitando presión sobre los sistemas convencionales de producción de alimento y contribuyendo a la seguridad alimentaria. Esto gracias a su gran potencial para ser usado como alimento vivo o usándose como materia prima para la elaboración de harinas. Por otro lado, no existe una dieta estandarizada para reproducción de este insecto bajo condiciones controladas, ya que, si bien el uso de dietas naturales ha comprobado ser efectiva, también compromete la calidad del insecto, así como sus características nutricionales intrínsecas. Al generar un exceso de humedad, combinado con el calor metabólico producido por los insectos, repercute no solo en la supervivencia de la colonia sino en los procesos metabólicos mismos, influenciando en procesos como la pupación y la emergencia de los imagos. Es por esto, que técnicas como la gelificación o la microencapsulación, al ofrecer una mejor liberación y control de la humedad dentro de las colonias, aseguran no solo la viabilidad de la reproducción masiva, sino que a su vez se busca facilitar las tareas de mantenimiento de esta. Por lo que, en el presente trabajo, se planteó evaluar dos dietas artificiales adecuadas para la crianza masiva de *T. molitor* bajo condiciones de laboratorio, para su explotación como modelo biológico y como materia prima para la elaboración de piensos y harinas.

## 1. ANTECEDENTES

### 1.1 Importancia de los insectos

Considerando que la clase Insecta es la más diversa del planeta y tan prolífica que comprende el 54 % de todas las especies conocidas por el hombre y el 75 % de las especies animales, podemos inferir la gran adaptabilidad de los insectos ante las adversidades ambientales. Por otro lado, la mega diversidad de los insectos conlleva un papel importante para la estabilidad de los ecosistemas (Zumbado y Azofeifa, 2018).

Gracias a esta gran biodiversidad, el estudio de los insectos sería demasiado extenso, por lo que se han establecido un cierto grupo de ordenes insectos que se consideran de importancia agrícola, término que abarca no solo aquellas especies benéficas, sino que también aborda aquellas que representan una amenaza (Margaría y col., 2018).

Ecológicamente según lo descrito por Gastón (2018), los animales pueden ser clasificados según su estructura reproductiva. Es decir, el número de descendientes después de cada reproducción, y a pesar de que dichas estrategias no garantizan la supervivencia, ya que dependen de múltiples factores intrínsecos, si es determinante para el crecimiento exponencial ante las variantes del ambiente en el que se desarrollan. Generando, según la teoría de la selección  $r/K$  dos principales estrategias de supervivencia, según los rasgos de cada especie. Para los estrategias  $K$ , principalmente especies de gran tamaño y longevidad, esto gracias a que se desarrollan en ambientes muy estables, eso da como resultado pocos descendientes y periodos largos entre gestas y reproducciones. En el caso de los insectos es, al contrario, ya que los denominados estrategias  $r$ , gracias a que se desarrollan en ambientes cambiantes y con escasos recursos, su prioridad es conservar la especie y reproducirse en cuanto antes, por lo que se caracterizan por sus numerosos descendientes, sus periodos intergestas cortos y por múltiples reproducciones. Aunado a esto a través de un complejo proceso evolutivo de variaciones genéticas, mutaciones y recombinaciones, los insectos alcanzaron las

tazas de prolificidad más altas del reino animal, teniendo como fundamentos los siguientes factores (Beukeboom, 2018):

- Cantidad de descendencia.
- Tiempo de desarrollo de huevo a adulto.
- Cantidad de hembras resultantes.

## 1.2 Importancia de los insectos en la agricultura

El papel de los insectos en la historia humana muchas veces es empañado por las inconveniencias que estos han causado, desde plagas como la transmisión de la peste bubónica en 1,347 o las más comunes como picaduras de mosquito, hasta las plagas de langostas que arrasan cultivos. No obstante, esto no es comparable con los beneficios que aportan tanto para el equilibrio de los ecosistemas como para la supervivencia del hombre, ya que, gracias a los agentes polinizadores se produce el 75 % de los 111 cultivos principales del mundo. Se estima que de las 100,000 especies polinizadoras el 98 % son insectos, dada la importancia de esto, que los servicios de los polinizadores a nivel global han sido valuados por cientos de millones de dólares anualmente. Por otro lado, juegan un papel clave en la descomposición y degradación de materia orgánica (Miñarro y col., 2018; Huis y col., 2013).

Los insectos por su relación intrínseca con las plantas son de sumo interés para la agricultura, por lo que, gracias a su naturaleza prolífica, es posible la crianza de estos bajo condiciones artificiales, estrategias que han ayudado a tener un mejor entendimiento de temas tan intrigantes para el ser humano como lo son la genética y la evolución (Zumbado y Azofeifa, 2018).

## 1.3 Reproducción de insectos en condiciones artificiales

Las técnicas de crianza de mamíferos han sido perfeccionadas a lo largo de los siglos, sin embargo, actualmente estas prácticas representan un riesgo medio ambiental, ya que cada vez se necesitan más terrenos para el pastoreo del ganado causando la deforestación, incrementando así la concentración de gases de efecto invernadero, de los cuales según la FAO (2018), la ganadería es el

mayor productor en el giro alimenticio. Debido al gran impacto de esta actividad económica se ha comenzado a popularizar la crianza de insectos con el objetivo de subsanar la deficiencia alimenticia mundial, puesto que la escala al ser mucho menor se traduce en un ahorro de recursos como el agua y la energía, siendo una gran opción para mitigar dichos efectos (Figura 1) (Opio, 2016).

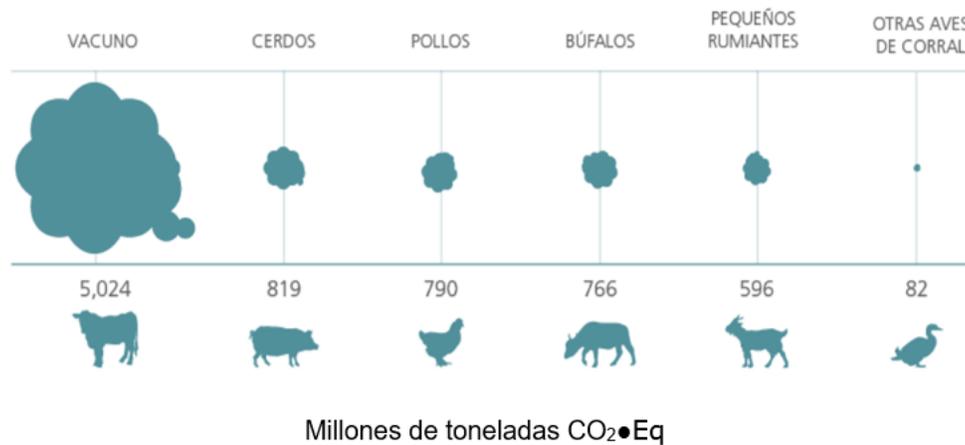


Figura 1. Estimación global de emisiones por explotación por especie (Productos cárnicos, lácteos y textiles, etc.). Extraído de Opio, 2016.

La reproducción masiva de insectos (RMI) según lo definido por primera vez por Finney y Fisher en (1964), es “la producción de bajo costo de millones de insectos benéficos, en una línea definida de operaciones, con el objetivo de producir un número máximo de insectos con un mínimo de espacio y esfuerzos necesarios para realizar una tarea”. Así mismo, es una técnica de suma importancia para el correcto entendimiento de una especie de importancia agrícola, ya que es una herramienta útil para la evaluación del material genético, obtener resistencias a plagas, mejores controles en las poblaciones y en algunos casos, se logra tener aplicaciones ajenas a la agricultura como lo son los insectos utilizados como alimento vivo o dentro de exhibiciones educativas y turísticas. Al ser un modelo de investigación tan eficiente, de igual manera deberá ser el alimento proporcionado a los insectos, asegurando de esta manera el éxito de la RMI (Aceituno y Hernández, 2020; Zumbado y Azofeifa, 2018).

Aunada a una alta tasa de producción de sujetos para investigación, la RMI ha demostrado ser una pieza clave del Manejo Integrado de Plagas (MIP). Ya que puede ser dividida según su propósito: reproducción para su liberación en la que se busca su sobrevivencia y competitividad sexual y la reproducción para formación de colonias (Yusef, 2020). Tal es el caso para la Técnica del Insecto Estéril (TIE), proceso por el cual se insertan machos estériles, con alta competitividad sexual, con el fin de diezmar las poblaciones.

### 1.3.1 Reproducción con dietas naturales

Por definición las dietas naturales, se refiere al grupo de organismos que son ingeridos por la especie de interés, existiendo algunas especies que su supervivencia fuera de su hábitat es tan frágil que es necesario replicar las condiciones ideales dentro del laboratorio para su desarrollo y de la misma manera será necesario suministrar una dieta similar a la que el insecto podría obtener en la naturaleza para cumplir sus necesidades nutricionales. Es por esto por lo que el uso de dietas naturales es limitado en la crianza de insectos bajo condiciones controladas, ya que los hábitos de la especie a usar como alimento vivo complican su disponibilidad como dieta. Este es el caso para lepidópteros como *Spodoptera* sp. (Lepidoptera, Noctuidae) y *Chrysoperla externa* (Neuroptera: Chrysopidae) (Chacón y col., 2009; Salamanca y col., 2010).

### 1.3.2 Reproducción con dietas artificiales

Aceituno y Hernández (2020) definen las dietas artificiales para la cría de insectos como aquellas provistas por el humano, con la intención de sustituir alimentos naturales por unos más accesibles o convenientes desde un punto de vista técnico y económico. Se le atribuye el primer uso de dietas artificiales a Bogdanow en 1906 siendo *Calliphora vomitoria* (Diptera: Calliphoridae) el primer insecto reproducido bajo condiciones artificiales, desarrollando una dieta basada en peptona, extracto de carne, amida y minerales, marcando el comienzo de formulaciones con múltiples ingredientes y propósitos de una de las técnicas más utilizadas actualmente para RMI (Bogdanow, 1906).

Se considera que en la cría de insectos se busca replicar las condiciones de crecimiento de una población, las dietas naturales podrían ser la primera opción para ello, sin embargo, en algunos casos es recomendable e incluso necesario el uso de una dieta artificial. Esto se hace principalmente cuando se busca incluir algún nutrimento especial en la dieta del insecto y su utilidad es mayor cuando se hace para mejorar la calidad nutricional de la dieta, mejorando así las propiedades intrínsecas del mismo insecto. Ya que al usar una dieta artificial se busca maximizar la calidad del insecto, la eficacia de los procesos de cría y una mayor relación costo beneficio de la reproducción. Este es el caso de aquellas especies cuya dieta está basada en la entomofagia, donde el uso de dietas vivas sube el costo de la experimentación. Es por esto por lo que el éxito de una dieta artificial dependerá de éxito larvario, la disminución de los tiempos de desarrollo, la capacidad reproductiva de los adultos y la calidad del insecto a través de las generaciones, además que sus componentes sean baratos, seguros y accesibles en el mercado (Soto y Lannacone, 2008).

Además, las dietas pueden clasificarse según el propósito de la RMI, ya que conforme los entomólogos se percataron que tanto las necesidades nutricionales como los aparatos bucales podían cambiar en los diferentes estadios del insecto, se comenzó a diferenciar entre las dietas artificiales larvales y las dietas artificiales para adultos (Kraus y col., 2019).

#### 1.4 Matriz alimenticia

La matriz alimenticia se define como el conjunto de ingredientes presentes en la formulación de la dieta destinada a la crianza de algún organismo. Estos dependerán principalmente del insecto al que será destinada. Sin embargo, también dependerá del objetivo de la crianza ya que para aquellos insectos que sean reproducción para su posterior liberación se deberán considerar la adición de suplementos como el metopreno que incrementa la liberación de feromonas sexuales para garantizar su éxito en TIE. Es por esto por lo que las dietas se diferencian según su composición (Yusef, 2020):

- Dietas holídicas: formada por ingredientes químicamente definidos.
- Dietas merídicas: conformada por uno o dos ingredientes químicamente indefinidos.
- Dietas oligídicas: constituidas por ingredientes crudos y orgánicos, por lo que casi ninguno de sus componentes está químicamente definido.

Además, se ha comprobado que el contenido de agua en la dieta artificial también influirá en la aceptación del insecto y en las condiciones generales de la crianza, ya que esta será la principal fuente hídrica del insecto. Esto sin mencionar que el aparato bucal de la especie a reproducir también determinará la composición de la dieta (Behmer, 2009):

- Dietas líquidas: este tipo de dieta ofrece varias ventajas, ya que pueden considerarse libres de residuos, al tener la proporción correcta del volumen de dieta con respecto a la densidad larvaria, puede ser consumida en su totalidad, disminuyendo así las operaciones de limpieza. Por otro lado, estas tienden a secarse antes de ser consumidas por completo, por lo que requieren de continuos rocíos de agua, es por esto por lo que son recomendadas para crianza a baja escala.
- Dietas semisólidas o gelificadas: han sido utilizadas principalmente como dietas iniciadoras larvarias, gracias a su mejor dispersión del calor metabólico, haciendo que su manejo sea fácil y práctico. Como agente gelificante se usa principalmente agar, debido a su bajo costo y a que es un ingrediente inerte, lo cual ofrece ventajas sobre las dietas sólidas debido a que los texturizantes crudos orgánicos pueden ser fuentes nutritivas para hongos y/o bacterias.
- Dietas sólidas: este tipo de dietas se desarrollaron agregando agar o algún otro tipo de texturizantes orgánico, como zanahoria deshidratada o polvo de soya texturizada, confiriéndole una estructura mucho más estable para los insectos con aparato bucal masticador y generando unas condiciones de crianza mucho más limpias e inocuas, debido a que su bajo contenido de humedad minimiza la aparición de hongos patógenos. A pesar de ser las

dietas más utilizadas por la disminución de los costos de operación, uno de los inconvenientes que presenta es la acumulación de calor metabólico si es que no se lleva a cabo un manejo adecuado (Figura 2) (Aceituno y Hernández, 2020).



Figura 2. Diferencias de dietas según su contenido de agua: A) dieta sólida, B) dieta semisólida y C) dieta líquida. Elaboradas en el laboratorio de compuestos naturales insecticidas de la Universidad Autónoma de Querétaro.

#### 1.4.1 Minerales

Desde el inicio de uso de dietas de diseño, se ha consensado que, así como los seres humanos, los insectos necesitan principalmente de hidrogeno, oxígeno y nitrógeno para sobrevivir, además requieren concentraciones altas de potasio, fosforo y magnesio y en menor medida calcio, sodio y cloro. Integrando la estructura de su cuerpo, pero de mayor importancia como amortiguadores del pH y como agentes estimuladores. Si bien es poca la información disponible acerca de los requerimientos de micronutrientes en los insectos y el posible efecto de dichas concentraciones en las reacciones propias del insecto y su alrededor, se ha visto un efecto positivo en la sustitución del fosfato de potasio por fosfato de sodio como fago estimulante (Aceituno y Hernández, 2020).

#### 1.4.2 Vitaminas

Se ha demostrado que las vitaminas solubles en grasa tales como A, D, E y K no son esenciales, sin embargo, se ha observado que el  $\beta$ -caroteno, la vitamina A y E tiene efecto en la aceleración del crecimiento, la pigmentación y como antioxidante de ácidos grasos poliinsaturados, respectivamente. Siendo de mayor importancia

vitaminas del complejo B y el ácido ascórbico. Por lo tanto, la tiamina, la riboflavina, el ácido nicotínico, la piridoxina, y el ácido pantoténico son esenciales para la mayoría de los insectos (Elsayeh y col., 2022).

#### 1.4.3 Carbohidratos

Esta familia de moléculas, además de ser las de mayor importancia para los insectos al ser su fuente principal de energía, pueden ser convertidas en grasa para almacenamiento, contribuir en la síntesis de aminoácidos y dentro de las dietas artificiales se usan como fagoestimulantes. Algunos de los más utilizados por insectos son: la fructosa, glucosa, maltosa y sacarosa. Su importancia es tal que, para algunos insectos, el consumo de carbohidratos llega a ser del 40 % del total de su dieta (Behmer, 2009).

#### 1.4.4 Lípidos

Si bien los insectos son capaces de sintetizar la mayoría de los lípidos que se involucran en el crecimiento de la larva, el desarrollo de las alas y la emergencia en adultos, algunos como el ácido linoleico y linolénico, son necesarios implementarlos en la dieta del insecto (Kraus y col., 2019).

#### 1.4.5 Esteroles

Debido a su gran importancia en el crecimiento y desarrollo del insecto y a su incapacidad a sintetizar la molécula del esteroles, es necesaria su adición a la dieta del insecto, ya que interviene en la producción de hormonas y en la estructura de la cutícula del insecto (Miček y col., 2019).

#### 1.4.6 Aminoácidos

Los insectos requieren los mismos aminoácidos esenciales que cualquier otro animal, debido a su incapacidad de producirlos por sí mismos. Los cuales se encuentran dentro de la dieta del insecto en forma de proteínas, ya que están formadas por enlaces peptídicos y están estrechamente ligados a la producción de proteínas estructurales y enzimáticas. El insecto en términos generales necesita de al menos 10 aminoácidos para su desarrollo y crecimiento (arginina, histidina, isoleucina, leucina, lisina, metionina, fenilalanina, treonina, triptófano y

valina) sintetizando el resto de ellos a partir de estos (Kraus y col., 2019).

Si bien la parte cualitativa de la dieta es de suma importancia para garantizar el éxito de la cría, se deben contemplar además otros aspectos de la dieta, ya que esta deberá de incluir agentes antimicrobianos y antifúngicos para garantizar la inocuidad del alimento, acidificadores y texturizadores como fagoestimulantes. Por otro lado, estos nutrientes deben de ser de fácil asimilación para el insecto, considerando la dureza de la dieta y la matriz general (Behmer, 2009).

### 1.5 *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae)

#### 1.5.1 Biología

El *Tenebrio molitor* (*T. molitor*) o gusano de la harina, es un insecto originario de Europa y fue esparcido por los colonizadores europeos durante el siglo XV, siendo actualmente una plaga cosmopolita (Mariod y Mirghani, 2017) (cuadro 1).

Cuadro 1. Taxonomía de *T. molitor*. extraído de Mondragón y Contreras (2018).

|         |                   |
|---------|-------------------|
| Dominio | Eukaryota         |
| Reino   | Animalia          |
| Filo    | Arthropoda        |
| Clase   | Insecta           |
| Orden   | Coleóptera        |
| Familia | Tenebrionidae     |
| Genero  | <i>Tenebrio</i>   |
| Especie | <i>T. molitor</i> |

Insecto de desarrollo holometábolo, es decir, que atraviesa una metamorfosis completa a lo largo de su vida que puede durar desde las 10 semanas hasta los cinco meses, dependiendo de las condiciones de temperatura y humedad (Figura 3). Este insecto es una plaga común en los cereales almacenados como trigo, sorgo, soya, entre otros. Recibiendo de aquí su nombre, ya que se alimentan de los granos (Dunford y Kaufman, 2006).

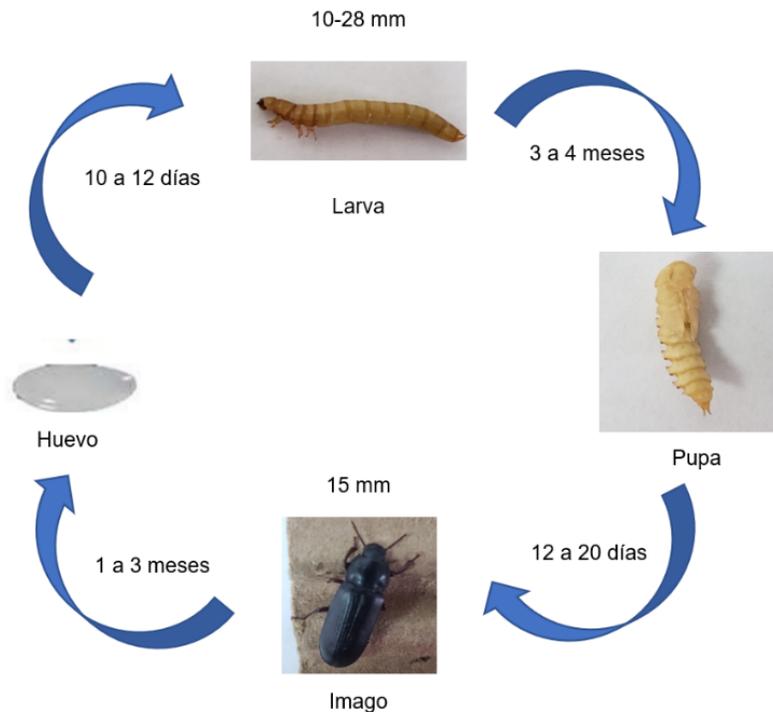


Figura 3. Ciclo biológico *Tenebrio molitor*, tomadas de Ong y col., (2018).

### 1.5.2 Ciclo biológico

- Huevo: pasados cinco a siete días después de la cúpula, la hembra comenzará a ovopositar en las estructuras del alimento, los huevos son blanquecinos y alargados eclosionaran en un máximo de siete días, a una temperatura optima de 25 a 27 °C y una humedad relativa del 70 % (Mariod y Mirghani, 2017).
- Larva: a la eclosión del huevo, eclosionan unas larvas amarillentas de unos 1.7 mm, esta fase puede durar de cinco a siete semanas y se caracteriza por una serie de mudas (6 a 11) a lo largo de su crecimiento llegando a medir hasta 28 mm, con un grosor que va de los 2.5 a los 3.5 mm (Figura 4).
- Pupa: se forma cuando la larva alcanza su tamaño máximo y esta fase durará de una a dos semanas (Mariod y Mirghani, 2017).
- Imago o adulto: cuando emergen de su pupa exarata son de un color blanquecino, obteniendo su pigmentación parduzca característica en un

plazo de una semana y llegaran a medir hasta 1.38 cm de largo. Será esta fase la encargada de garantizar la reproducción de la especie y comenzar el ciclo una vez más (Figura 5) (Dunford y Kaufman, 2006).



Figura 4. Inmaduro o larva (A) y pupa (B) de *Tenebrio Molitor*, tomadas de Mondragón y Contreras, (2015).



Figura 5. Adulto de *Tenebrio Molitor*, tomadas de Mondragón y Contreras, (2015).

### 1.5.3 Importancia económica de *Tenebrio molitor*

La especie *T. molitor* tiene importancia económica como plaga, atacando granos almacenados, principalmente en aquellos que han sido previamente procesados o incluso atacados por una plaga primaria y con una alta humedad, además que gracias a su condición cosmopolita se alimenta de una gran variedad de cultivos como soya, maíz, trigo, arroz y cebada. Sin embargo, también ha sido utilizada como alimento vivo para otros animales e incluso como fuente de proteínas para los humanos (Moruzzo y col., 2021). A pesar de que esto se realiza desde épocas prehispanicas, en ese entonces no existía la necesidad de la crianza masiva de insectos para consumo, por otro lado, el actual aumento poblacional junto con los problemas ecológicos ha puesto presión sobre la producción alimenticia global. Por lo que el fondo de las Naciones Unidas para la alimentación (FAO, 2018), ha considerado a los insectos como una fuente nutricional de alto valor biológico.

Esto gracias a que entre el 60 y 70 % de su composición corporal esta constituida por proteína y grasas poliinsaturadas de fácil digestión. Tan solo en nuestro país 2018 se estima que existen unas 1,400 especies comestibles y 504 de ellas con un importante valor nutricional e incluso Estados Unidos, ha incluido a los insectos al programa de supervivencia, gracias a su bajo nivel de fibra cruda, vitaminas y minerales como el hierro y el magnesio, además que gracias a que en su cutícula poseen moléculas protectoras contra microorganismos entomopatógenos (Abril y col., 2022).

### 1.5.4 Composición nutrimental de *Tenebrio molitor*

Si bien al principio la información nutricional de los insectos era poco estudiada, su potencial alimenticio es innegable, por lo que cada vez se destinan más recursos para conocer no solo su composición nutrimental, sino además el mejor procedimiento y estadio en que debe ser procesado según las necesidades del producto, dependiendo claro de la dieta del insecto. Para *Tenebrio molitor*, esto no ha sido la excepción, ya que se ha observado sus características para ser considerando un superalimento (cuadro 2 y 3) (Melgar y col., 2019).

Cuadro 2. Valores nutrimentales (% en base seca) de larva, adulto, exuvia y excretas de *Tenebrio molitor* tomado de Ravzanaadii y col., (2012).

| Parámetro      | Larva | Imago | Exuvia | Excreta |
|----------------|-------|-------|--------|---------|
| Humedad        | 5.4   | 3.5   | 13     | 12.2    |
| Proteína cruda | 46.4  | 63.3  | 32.9   | 18.5    |
| Grasa cruda    | 32.7  | 7.6   | 3.6    | 1.3     |
| Fibra cruda    | 4.6   | 20    | 26     | 13.6    |
| Ceniza cruda   | 2.9   | 3.6   | 3.2    | 7.3     |

Cuadro 3. Aminoácidos presentes (gramos x 100 g de proteína) en larva, adulto, exuvia y excretas de *Tenebrio molitor* tomado de Ravzanaadii et al.,(2012).

| Aminoácidos            | Larva | Imago | Exuvia | Excreta | Niño | Adulto |
|------------------------|-------|-------|--------|---------|------|--------|
| Isoleucina             | 3.5   | 3.9   | 1.9    | 0.3     | 3    | 1.3    |
| Leucina                | 3.4   | 5.1   | 1.9    | 0.4     | 6.6  | 1.9    |
| Lisina                 | 2.9   | 2.2   | 1      | 0.2     | 5.8  | 1.6    |
| Cisteína + Metionina   | 1.1   | 1.1   | 0.4    | 0.2     | 2.5  | 1.7    |
| Fenilalanina +Tirosina | 5.2   | 3.1   | 3      | 0.3     | 6.3  | 1.9    |
| Treonina               | 1.8   | 2.1   | 1.1    | 0.2     | 3.4  | 0.9    |
| Valina                 | 2.4   | 3.3   | 2.4    | 0.2     | 3.5  | 1.3    |
| Histidina              | 1.5   | 1.7   | 1.2    | 0.4     | 1.9  | 1.6    |

Al crecer la tendencia del consumo de insectos, también creció el ingenio para procesarlos de manera que sean más apetitosos, es por esto por lo que se suele procesar al punto de convertir la materia prima en harinas o piensos, esto gracias a que los insectos tienen un mejor perfil nutricional comparados con harinas comerciales y una mayor digestibilidad de la materia orgánica (cuadro 4, 5 y 6) (Melgar y col., 2019).

Cuadro 4. Comparativa nutrimental (% en base seca) entre harina de *Tenebrio molitor*, harina de *Gromphadorhina portentosa*, harina de pescado y harina de soya, tomado de Pérez y col., (2019).

| Fuentes de proteína         |      |      |      |       |      |
|-----------------------------|------|------|------|-------|------|
| Parámetro %                 | HTA  | HTL  | HC   | HS    | HP   |
| Humedad                     | 6.5  | 4    | 3.8  | 11.3  | 7.1  |
| Materia seca                | 93.4 | 96   | 96.1 | 88.6  | 92.8 |
| Cenizas                     | 5    | 4.9  | 4.5  | 4.8   | 27.4 |
| Extracto etéreo             | 4.6  | 22.4 | 12   | 18.9  | 7.8  |
| Proteína cruda (Nx6.25)     | 63.3 | 51.4 | 68.7 | 39.9  | 52   |
| Fibra cruda                 | 15.4 | 8.9  | 15   | 5.8   | 3.6  |
| Extracto libre de nitrógeno | 5    | 8.3  | 5.1  | 19.36 | 2    |

HT A: harina de adultos de *Tenebrio molitor*, HT L: harina de larvas de *Tenebrio molitor*, HC: harina de *Gromphadorhina portentosa*, HP: harina de pescado y, HS: harina de soya, n=3 repeticiones.

Cuadro 5. Comparativa de aminoácidos esenciales presentes (gramos x100 gde proteína) entre harina de *Tenebrio molitor*, harina de *gromphadorhina portentosa*, harina de pescado y harina de soya, tomado de Pérez, y col., (2019).

| Fuentes de proteína    |      |       |       |        |      |
|------------------------|------|-------|-------|--------|------|
| Aminoácidos esenciales | HTA  | HTL   | HC    | HP     | HS   |
| Valina                 | 57.1 | 49.6  | 38.5  | 47.9   | 39   |
| Leucina                | 49.3 | 39.8  | 54.9  | 56.9   | 34.4 |
| Isoleucina             | n.d. | 36.6  | 33.08 | 39.2   | 24.6 |
| Metionina              | 6    | 3     | 7.93  | 9.8    | 7    |
| Treonina               | 81.2 | 61.3  | 23.53 | 120.4  | 20.3 |
| Fenilalanina           | 71.1 | 73.6  | 52.96 | 172.94 | 37   |
| Cisteína               | 19.5 | 24    | 20.03 | n.d.   | 16.8 |
| Lisina                 | 56   | 67    | 89.51 | 104    | 51.4 |
| Histidina              | 108  | 72.9  | 127.2 | 62.8   | n.d. |
| Tirosina               | 28.8 | 11.05 | 40.04 | 11     | 60   |

HT A: harina de adultos de *Tenebrio molitor*, HT L: harina de larvas de *Tenebrio molitor*, HC: harina de *Gromphadorhina portentosa*, HP: harina de pescado y, HS: harina de soya, n=3 n.d.= no detectado.

Cuadro 6. Comparativa de aminoácidos no esenciales presentes (gramos x 100g de proteína) entre harina de *Tenebrio molitor*, harina de *Gromphadorhina portentosa*, harina de pescado y harina de soya, tomado de Pérez, y col., (2019).

| Fuente de proteína        |      |      |      |       |       |
|---------------------------|------|------|------|-------|-------|
| Aminoácidos no esenciales | HTA  | HTL  | HC   | HP    | HS    |
| Alanina                   | 39.4 | 44.2 | 5    | 51.8  | 24.7  |
| Glicina                   | 33.8 | 45.7 | 28.1 | 155.3 | 10.8  |
| Prolina                   | 39.2 | 41.8 | 24.4 | 128.5 | 23.6  |
| Serina                    | 4.8  | 3    | n.d. | 14.4  | 2.5   |
| Ácido aspártico           | n.d. | n.d. | n.d. | n.d.  | n.d.  |
| Ácido glutámico           | 37   | 28.2 | n.d. | 3.2   | n.d.  |
| Glutamina                 | 3.1  | n.d. | 3.2  | n.d.  | 131.9 |

HT A: harina de adultos de *Tenebrio molitor*, HT L: harina de larvas de *Tenebrio molitor*, HC: harina de *Gromphadorhina portentosa*, HP: harina de pescado y, HS: harina de soya, n=3 n.d.= no detectado.

Teniendo en cuenta que estas propiedades dependen en gran medida de la dieta del insecto, se extiende la posibilidad de mejorar los valores deseables y ajustar de esta manera la dieta, de tal manera de tener los niveles adecuados para su destino específico. Algunas de las técnicas utilizadas son las dietas gelificadas, dietas naturales, dietas microencapsulada, entre otras (Celis, 2018).

### 1.6 Técnicas de encapsulado

Entre los compuestos necesarios para una correcta nutrición de los insectos bajo crianza en condiciones controladas, el agua es imprescindible, sin embargo, en la mayoría de las especies, esta necesidad es cubierta por el agua presente en los alimentos. Esto conlleva una serie de problemas, ya que propicia un exceso de humedad en las cajas de cría, incrementando el apareamiento de hongos. Es por esto por lo que el encapsulamiento fue desarrollado entre los años 30's y 40's, encapsulando un tinte en gelatina como alternativa para un mayor control de la humedad (Agnihotri y col., 2012).

A partir de esto las aplicaciones que se le han dado a esta técnica han sido prácticamente infinitas, ya que es una de las herramientas más útiles para la industria. Ya que, si el uso de dietas sólidas supone un mayor control en dicha humedad, durante los últimos 100 años se han trabajado las microencapsulaciones, las cuales han demostrado ser una excelente opción como protección y transporte de agentes de interés, teniendo además una alta biocompatibilidad y una liberación controlada y prolongada de estos (Agnihotri y col., 2012).

El encapsulamiento consiste en el recubrimiento de un sólido, líquido o gas, con una membrana polimérica y porosa (Figura 6). Técnica con diversas funciones tanto en la industria alimenticia como farmacéutica. Ya que permite alterar las propiedades específicas del agente de interés, protegiendo el contenido de la luz, el oxígeno y de otros compuestos que puedan reaccionar o que puedan degradar al ingrediente activo, además de la capacidad de controlar la velocidad de liberación y adecuarla según sea necesario (Paulo y Santos, 2017).

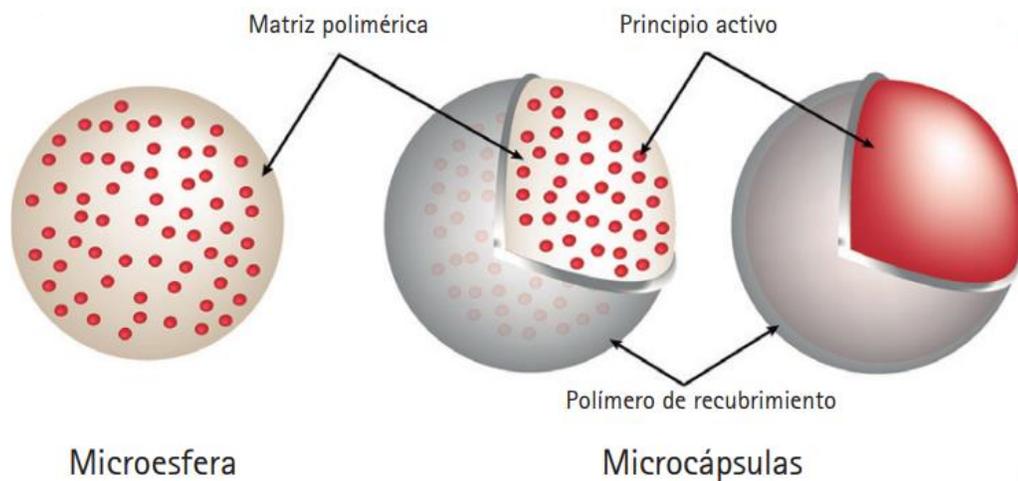


Figura 6. Microesfera y microencapsulación, extraído de Agnihotri y col., 2012.

### 1.6.1 Materiales del núcleo

La naturaleza del núcleo es sumamente variada y dependerá principalmente de las necesidades del investigador, permitiendo formulaciones líquidas y sólidas. Para los núcleos líquidos el ingrediente activo se presenta disuelto o disperso dentro de una solución emulsificada con el resto de los ingredientes. En el caso de los núcleos sólidos, es necesario incluir estabilizadores, diluyentes, excipientes y aceleradores o retardantes de liberación, esto para garantizar la activación de la sustancia activa (Parra, 2010).

### 1.6.2 Materiales de la membrana

El recubrimiento o membrana generalmente está constituida por materiales capaces de generar cadenas de enlaces poliméricos con capacidad hidrofílica y/o hidrofóbicas, formándose así una película protectora. Las características de esta membrana estarán determinadas por lo que los compuestos presentes en su formulación, por lo que el polímero a seleccionar deberá ser inerte, permitir una baja volatilización del ingrediente activo y una alta capacidad de liberación controlada, además dependerá de las condiciones ambientales bajo las cuales estará expuesto. La membrana, deberá presentar compatibilidad y cohesión con el núcleo del encapsulamiento y a su vez exhibir las propiedades deseadas como lo son: flexibilidad, resistencia, estabilidad, impermeabilidad, entre otras (Agnihotri y col., 2012).

El espesor de la membrana también puede variar ya que no solo dependerá de la superficie del compuesto a encapsular, sino que además depende de otras características físicas del sistema, como lo es el diámetro de la cápsula final, que puede ir desde los 200  $\mu\text{m}$  hasta los 5000  $\mu\text{m}$  (Paulo y Santos, 2017).

### 1.6.3 Procesos de encapsulamiento

Existen múltiples técnicas de encapsulamiento de agentes de interés, sin embargo, estas pueden clasificarse en dos grupos, técnicas físicas o mecánicas y técnicas químicas. Dentro de las primeras se puede encontrar la extrusión, el secado por aspersión y el secado por enfriamiento. Mientras que las químicas

contemplan la coacervación, la co-cristalización, la gelificación, entre otras (Figura 7) (Parra,2010).



Figura 7. Procesos de microencapsulación, extraído de Agnihotri y col., 2012.

#### 1.6.3.1 Polimerización interfacial

Este método de microencapsulamiento consiste en formar una membrana polimerizando un monómero en la interfase de dos sustancias inmiscibles entre sí. Esta membrana, posteriormente formara las paredes de la microencapsulación. Dicho procedimiento es llevado a lo largo de 3 fases (Parra, 2010).

- Formar una emulsión agua-aceite, mezclando una sustancia soluble en agua, en una fase orgánica.
- Añadir un agente soluble en aceite, formando así una membrana polimérica sobre la superficie de las gotas de agua.
- Separación de las microcápsulas de la fase orgánica, para su posterior lavado.

Si bien la técnica de encapsulamiento dependerá del propósito de la Microcápsula, la polimerización interfacial, permite obtener capsulas cuya membrana representa entre el 10 al 15 % de la masa total, permitiendo así que el núcleo ocupe un mayor porcentaje (Munévar, 2017).

#### 1.6.3.2 Secado por aspersion

El secado por atomización o aspersion consiste en la atomización de la mezcla entre el núcleo en suspensión, y una sustancia polimerizante. Al ser esto atomizado en la cámara de secado, el solvente es evaporado, formando las microencapsulaciones. Es por esto por lo que una de las técnicas más utilizadas, ya que las características de las microencapsulaciones obtenidas, tales como espesor, diámetro, humedad, entre otras, pueden ser modificadas al manipular la configuración del equipo. De esta manera se obtiene uno de los porcentajes más alto de eficiencia, estando entre el 96 % y el 100 %, comparada con otras técnicas (Paulo y Santos, 2017).

#### 1.6.3.3 Extrusión

Técnica mecánica, que consiste en hacer pasar tanto la solución del núcleo, como la solución de la membrana, siendo ambas inmiscibles entre sí, a través de un dado a alta presión. Esta presión forzara el contenido del núcleo dentro de la membrana, formando así el encapsulamiento. Este proceso, junto con el secado por atomización, es por esto por lo que es una de las técnicas más utilizadas por la industria alimenticia, por su capacidad de encapsular tanto sabores como vitaminas (Jyothi y col., 2012).

#### 1.6.3.4 Coacervación simple

Esta técnica es considerada como el método original de encapsulado y consiste en el uso de un polímero natural o artificial, para su separación en pequeñas gotas líquidas o "coacervado". Posteriormente, el ingrediente activo disperso en la solución es recubierto con el coacervado, formando una capsula que gelificara bajo las condiciones de acidez o salinidad, según convenga al investigador. Además, dichas circunstancias dependerán tanto de la naturaleza del núcleo, como de la del polímero a utilizar (Figura 8) (Agnihotri y col., 2012).

Para incitar la separación de fases, según Parra (2010), es necesario adicionar lentamente un “no solvente” poco soluble, el cual es un solvente miscible con el solvente del polímero y en el cual el polímero es insoluble. Este “no solvente” se añade a la solución encapsuladora o donde se formará la membrana y con el ingrediente de interés suspendido. El polímero al ser insoluble comenzara a depositarse en las paredes del núcleo, iniciando así la encapsulación, finalizando una sobresaturación del “no solvente” favoreciendo el endurecimiento de las micro capsulas. Las variantes de esta técnica permiten acelerar la coacervación mediante la temperatura y el pH (Agnihotri y col., 2012).

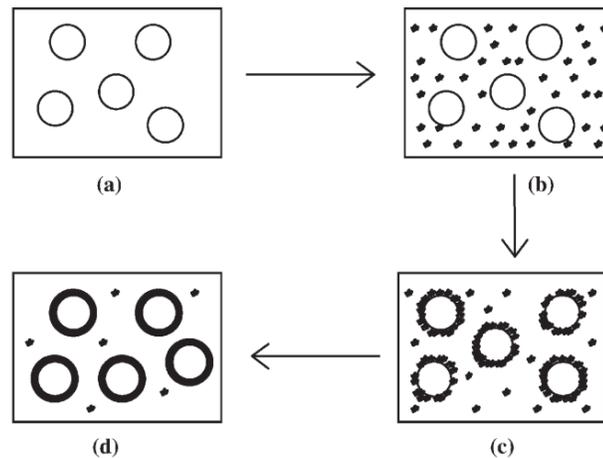


Figura 8. Proceso general de coacervación; a) Ingrediente activo suspendido en la solución encapsuladora, b) Separación del coacervado, c) Deposición de microgotas sobre la pared del núcleo, d) Encapsulación. Extraído de Agnihotri y col., 2012.

## **2. HIPÓTESIS**

Las dietas artificiales elaboradas por microencapsulación y gelificación al presentar una mayor tasa de digestibilidad en *Tenebrio molitor*, se incrementará de manera significativa el peso larvario y el contenido proteínico con respecto al control, lo que permitirá usar las larvas alimentadas con dichas dietas, para la realización de una harina rica en proteína.

### 3. OBJETIVOS

#### 3.1 General

Evaluar diferentes dietas artificiales, para la cría de *Tenebrio molitor* bajo condiciones de laboratorio, para elaborar una harina rica en proteína.

#### 3.2 Específicos

- Evaluar una dieta gelificada, apta para la cría de *T. molitor* bajo condiciones de laboratorio.
- Evaluar una dieta microencapsulada para la cría de *T. molitor* bajo condiciones controladas.
- Elaboración de una harina rica en proteína con larvas de *T. molitor* alimentadas con dietas artificiales bajo condiciones de laboratorio.

## 4.2 METODOLOGÍA

### 4.1 Materiales

Para la realización del presente trabajo fue necesario el uso del material, equipos y reactivos descritos en el cuadro 7.

Cuadro 7. Materiales, equipos y reactivos.

|  |   |   |
|--|---|---|
| Zanahoria deshidratada<br>( <i>Daucus carota</i> ) | Trigo ( <i>Triticum</i> spp)              | Levadura<br>( <i>Saccharomyces cerevisiae</i> ) |
| Ácido ascórbico (Golden bell)                      | Citrato de sodio (Golden bell)            | Etanol (Ecopura)                                |
| Complejo B (Similares)                             | Formaldehído (Sigma-Aldrich)              | Neomicina (Sigma-Aldrich)                       |
| Agar (BD Dixon)                                    | Alginato de sodio 0.8 % p/v (Golden bell) | Fosfato de potasio (Golden bell)                |
| Agua destilada                                     | Dextrosa (Golden bell)                    | Cloruro de calcio 2 % p/v (Golden bell)         |
| Metilparabeno (Golden bell)                        | Desecador solar                           | Plato de agitación                              |
| Molino   | Sonicador                                 | Desecador                                       |

### 4.2 Métodos

#### 4.2.1 Montaje de la cría

La cría fue obtenida de un proveedor ubicado en la Ciudad de México, México, a partir del cual se obtuvieron las generaciones descendientes para el presente trabajo. La cría en laboratorio se comenzó con 300 larvas de *T. molitor*, las cuales se montaron en un contenedor de plástico con un sustrato de trigo molido, aserrín y avena molida, esterilizado en un horno a 90 °C, durante dos horas. Este sustrato fue cambiado una vez cada 45 días. Conforme las larvas evolucionaron a pupas, fueron separadas en contenedores plásticos de 0.5 L, para su posterior separación en la etapa adulta a contenedores plásticos más amplios y con cartón para la

ovipostura. La separación de los instares se llevó a cabo tres veces por semana, así como los contenedores que fueron limpiados una vez por semana.

#### 4.2. Dieta de control

La dieta de control para larvas consistió en zanahoria fresca y pelada, fue cambiada cada 48 horas.

##### 4.2.3 Dieta microencapsulada

Se preparó una dieta modificada de Deladino y col., (2009), comenzando con la encapsulación de solución nutritiva (SN). Esta estuvo compuesta por 4.5 g de zanahoria, deshidratada, esterilizada y previamente molida. Así como 7.5 g de trigomolido, 1 g de levadura (*S. cerevisiae*), 0.3 g de metil-paraben, 0.204 mL de formaldelído, 0.15 g de ácido ascórbico, 0.095 g de neomicina, 0.305 g de fosfato de potasio y complejo B (1 píldora comercial), todo disuelto en 50 mL de agua destilada.

La SN se agitó durante 5 minutos a 3500 rpm con agitador magnético, hasta que se obtuvo una solución homogénea. Finalmente se refrigeró hasta obtener una temperatura de 4 °C.

Se preparó una solución de alginato de sodio al 0.8 % p/v disolviendo 1.25 g en 150 mL de agua destilada. Se agito durante 5 minutos a 3500 rpm con agitador magnético. Una vez disuelto el alginato, aun en agitación se le añadieron 50 mL de la SN, hasta obtener una solución homogénea y libre de grumos. Formando así una matriz alginato-SN.

La matriz alginato-SN se colocó por goteo en una solución de cloruro de calcio al 2% p/v, donde las microcápsulas permanecieron durante 15 minutos. A estas capsulas se les denominó matriz Ca-alginato, las cuales recibirán tres lavados con agua destilada.

Una vez lavada la matriz Ca-alginato, se sumergieron en una solución de citrato de calcio 0.9 % p/v y se colocaron en ultrasonido. Al cabo de 15 minutos a la nueva matriz alginato-citrato, se le realizaron tres lavados con agua destilada, para su posterior conservación o secado.

#### 4.2.4 Dieta gelificada (para preparar 1 Kg)

Con base en la metodología mencionada por Cerna y col., (2021) del ESALQ-USP (Colegio de Agricultura Luiz de Queiroz, de la Universidad de Sao Paulo) que utiliza como dieta artificial para la CMI de harina de trigo, soya, sales minerales, vitaminas y antibióticos para RMI de *S. frugiperda*. Mientras que en la dieta modificada propuesta para *T. molitor* fue sustituida la soya por zanahoria deshidratada y se añadió levadura (*Saccharomyces cerevisiae*).

Se molieron 100 g de trigo y 75 g de zanahoria previamente deshidratada y esterilizada. A la mezcla anterior se le agregaron los siguientes compuestos: levadura (8.75 g), fosfato de potasio monobásico (3.05 g) y agua destilada (500 mL). Agitándose a 3500 rpm hasta obtener una mezcla homogénea.

Se prepararon 50 mL de una solución de dextrosa al 1 % p/v para disolver ácido ascórbico (2.24 g), neomicina (1.2 g) y complejo B (1 píldora comercial). Al homogeneizar se le añadieron etanol (2.55 mL) y formaldehído al 40 % v/v (7.20 mL).

De forma separada se disolvieron 12 g de agar en 250 mL de agua destilada a 80 °C. Una vez disuelto se mezcló esta última con la solución de trigo y zanahoria. Al llegar a la temperatura de 60 a 65 °C se le agregó la solución multivitamínica. Finalmente se dejó homogeneizar para su refrigeración.

#### 4.2.5 Prueba de dietas

Se formaron tres grupos de 30 larvas de primer instar (A, B y C) cada uno, estas fueron previamente pesadas en tres repeticiones de 10 larvas, registrando así el peso inicial. A cada grupo se le asignó un tratamiento: A) Dieta control a base de zanahoria fresca, B) Dieta artificial gelificada, C) Dieta artificial microencapsulada. Se suministraron 5 g de la dieta correspondiente a cada grupo, siendo reemplazada, cada tercer día, registrando el consumo de la dieta, así como el peso en fresco y en seco. Al cabo de cada 10 días, cada grupo (A, B y C), fue tamizado (100-500 µm), limpiado y pesado, registrando así el aumento de peso larvario y el Índice de Conversión Alimentaria (ICA), variable que relaciona la cantidad de

alimento necesario por un organismo, para incrementar 1 Kg su peso (Ecuación 1).

$$ICA = \frac{\text{Peso del alimento ingerido}}{\text{Incremento de peso vivo de las larvas}}$$

Ecuación 1. Fórmula para la determinación del ICA en *T. molitor*. Dossey y col., 2016.

La prueba se realizó durante 100 días, llevando las larvas al noveno instar. Llegado este punto las larvas permanecieron 24 horas sin alimento, con el objetivo de vaciar sus aparatos intestinales. Posteriormente, se registro su peso final. Finalmente, las larvas fueron congeladas a -20 ° C, hasta su posterior uso o análisis bromatológico.

#### 4.2.6 Elaboración de harina de *Tenebrio molitor*

Según lo descrito por Melgar y col. (2019), la harina fu preparada a partir de larvas de *Tenebrio molitor*. Estas fueron hervidas agua en tres ciclos, 1) un minuto, 2) 10 minutos, 3) cinco minutos. Reposando cinco minutos entre cada ciclo. Inmediatamente terminado el último ciclo, las larvas fueron secadas en un horno a 55 °C, durante 24 horas. Finalmente se remojaron en agua ácida (pH 4) durante un minuto, antes de ser molidas. Una vez elaborada la harina se midió el contenido proteico de la harina de larvas de *Tenebrio molitor*, usando el método AOAC 954.01 (Ecuación 2) (Ecuación 3). Además, se calculó el contenido de humedad presente en las larvas, con el fin de evaluar el rendimiento de la elaboración de la harina (Ecuación 4).

$$N\% = \frac{(V_S V_B) \times M \times 14.01}{W \times 10}$$

Ecuación 2. Fórmula para la determinación de nitrógeno total (%) en harina de *Tenebrio molitor*. Donde  $V_S$ =volumen de ácido,  $V_B$ =volumen del blanco,  $M$ =molaridad del ácido clorhídrico. A.O.A.C., (2001).

$$\text{Proteína cruda} = N \% \times F$$

Ecuación 3. Fórmula para la determinación de proteína cruda en harina de *Tenebrio molitor*, donde F es igual al factor de conversión 6.25 para bromatología. A.O.A.C., (2001).

$$\% \text{ Humedad} = \frac{(\text{Peso fresco (g)} - \text{Peso seco(g)}) \times 100}{\text{Peso de la muestra (g)}}$$

Ecuación 4. Fórmula para la determinación de la humedad en la harina de *Tenebrio molitor*. NOM-147-SSA1-1996.

#### 4.2.7 Análisis estadístico

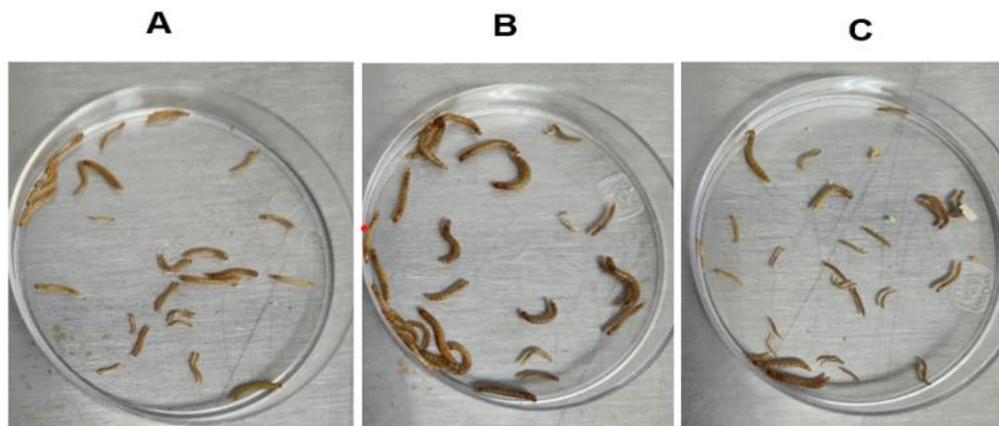
Cada tratamiento se realizó por triplicado, con un total de 90 larvas, sometiendo cada grupo de datos a un análisis de varianza para observar si existe diferencia entre tratamientos través de una prueba ANOVA con una significancia igual a 0.05. Además, se realizó un análisis de Dunnet, para la comparación de los tratamientos con el control.

## 5. RESULTADOS

### 5.1 Incremento de peso larvario

Las larvas al inicio del bioensayo, en los tres tratamientos (control [A], microencapsulaciones [B] y gelificación [C]), presentaron un tamaño homogéneo, por lo tanto, no hubo diferencias significativas (Cuadro 8). A los 10 y 20 d, el tratamiento C, presentó el menor incremento de peso, mientras que los tratamientos A y B no presentaron diferencia significativa. Por otra parte, a partir de los 30 d y hasta el fin del experimento 100 d, el tratamiento B, mostró diferencia significativa ( $p=0.0001$ ) y un incremento de peso con respecto a los tratamientos restantes, mientras que los tratamientos A y C, no muestran diferencias significativas entre sí. Con excepción de que a los 60 días de experimentación los tres tratamientos permanecieron sin diferencia significativa, sin embargo, el tratamiento C, presentó el menor incremento de peso y el tratamiento B un aumento de peso con respecto al control. De acuerdo con los resultados presentados, la dieta microencapsulada probó tener en el 70 % las mediciones un incremento y diferencia significativa, con respecto al control y al tratamiento de gelificación, además de que el peso final de las larvas, del tratamiento B mostraron un incremento en un 238.21 % con respecto del control como dieta para larvas de *T. molitor* (Figura 9).

Figura 9. Crecimiento larval a los 100 d de *Tenebrio molitor* alimentado con tres dietas sintéticas diferentes, A) control, B) microcápsulas y C) gelificación.



Cuadro 8. Peso (g) de larvas de *Tenebrio molitor* alimentadas con tres dietas artificiales.

| Tiempo (días) | Tratamiento     |                 |                 |
|---------------|-----------------|-----------------|-----------------|
|               | Control         | Microcápsulas   | Gelificación    |
| 0             | 0.008 ± 0.003 A | 0.010 ± 0.002 A | 0.009 ± 0.002 A |
| 10            | 0.021 ± 0.004 A | 0.019 ± 0.006 A | 0.012 ± 0.003 B |
| 20            | 0.027 ± 0.01 A  | 0.027 ± 0.012 A | 0.015 ± 0.008 B |
| 30            | 0.032 ± 0.007 B | 0.047 ± 0.01 A  | 0.018 ± 0.005 C |
| 40            | 0.035 ± 0.01 B  | 0.065 ± 0.02 A  | 0.02 ± 0.003 B  |
| 50            | 0.055 ± 0.02 AB | 0.085 ± 0.02 A  | 0.048 ± 0.03 B  |
| 60            | 0.059 ± 0.01 A  | 0.093 ± 0.04 A  | 0.064 ± 0.03 A  |
| 70            | 0.061 ± 0.01 B  | 0.129 ± 0.02 A  | 0.064 ± 0.03 B  |
| 80            | 0.076 ± 0.02 B  | 0.156 ± 0.02 A  | 0.070 ± 0.03 B  |
| 90            | 0.056 ± 0.04 B  | 0.169 ± 0.07 A  | 0.085 ± 0.08 AB |
| 100           | 0.092 ± 0.03 B  | 0.219 ± 0.03 A  | 0.069 ± 0.03 B  |

Los datos representan el promedio 30 unidades experimentales ± desviación estándar, letras diferentes indican diferencia significativa.

## 5.2. Índice de conversión alimentario (ICA)

Durante el transcurso el bioensayo también se calculó el índice de conversión alimentario (ICA) (cuadro 9), obteniendo para el control (A) durante los 10 d y los 20 d, un menor índice de conversión que los tratamientos B (microcápsulas) y C (gelificación). Por otra parte, el tratamiento B a partir de los 30 d y hasta los 100 D, presento el menor índice de conversión con respecto a los tratamientos A y C, siendo este último, el tratamiento con un mayor índice de conversión, con excepción de las mediciones a los 70, 80 y 90 d. Este índice de conversión alimentaria indica que las larvas del control requieren de 5.7 Kg de zanahoria, aquellas larvas alimentadas con el tratamiento de microencapsulación 3.69 Kg, mientras que aquellas del tratamiento de gelificación 8.7 Kg. Siendo la microencapsulación la dieta con un índice de conversión alimentario menor, durante el transcurso de 100 días para la alimentación de larvas de *T. molitor* (cuadro 10). Por lo que se puede observar que se requiere un 46.4 % menos de dieta microencapsulada con respecto al control, y con la dieta gelificada se necesitó un 32.25 % más dieta, con respecto al control, para obtener el mismo

índice de conversión.

Cuadro 9. Índice de conversión de alimentos (ICA en Kg) de larvas de *Tenebrio molitor* alimentadas con tres dietas artificiales durante 100 días.

| Tiempo (días) | Tratamiento  |               |               |
|---------------|--------------|---------------|---------------|
|               | Control      | Microcápsulas | Gelificación  |
| 10            | 17.9 ± 1.7 C | 29.8 ± 4.8 B  | 41.4 ± 3.0 A  |
| 20            | 19.5 ± 2.5 B | 24.2 ± 3.7 B  | 35.7 ± 6.1 A  |
| 30            | 16.9 ± 1.4 B | 14.76 ± 1.0 B | 29.06 ± 4.5 A |
| 40            | 17.0 ± 2.3 B | 12.0 ± 4.1 B  | 28.0 ± 2.3 A  |
| 50            | 9.3 ± 1.1 A  | 6.5 ± 0.9 A   | 14.1 ± 9.7 A  |
| 60            | 11.4 ± 0.7 A | 8.5 ± 0.4 A   | 12.1 ± 6.37 A |
| 70            | 11.6 ± 0.1 A | 6.73 ± 0.8 A  | 11.3 ± 5.0 A  |
| 80            | 9.60 ± 1.5 A | 5.67 ± 0.3 A  | 10.3 ± 4.3 A  |
| 90            | 12.5 ± 8.1 A | 4.96 ± 1.4 A  | 7.9 ± 4.3 A   |
| 100           | 5.7 ± 1.4 A  | 3.69 ± 0.2 AB | 8.7 ± 3.2 B   |

Los datos representan el promedio 30 unidades experimentales ± desviación estándar, letras diferentes indican diferencia significativa.

Cuadro 10. Peso inicial, incremento de peso y diferencia de peso a lo largo de 100 días de cría de larvas *Tenebrio molitor* en grupos de 10 larvas según la dieta suministrada.

| Dieta         | Promedio peso 0 d (g) | Promedio 100 d (g) | Diferencia de peso (g) | Tasa de conversión promedio 100 d (Kg) |
|---------------|-----------------------|--------------------|------------------------|--|
| Control       | 0.008 ± 0.001 A       | 0.092 ± 0.01 B     | 0.083 ± 0.01 B         | 5.70 ± 1.43 AB                         |
| Microcápsulas | 0.010 ± 0.0005A       | 0.219 ± 0.01 A     | 0.209 ± 0.01 A         | 3.68 ± 0.26 B                          |
| Gelificación  | 0.009 ± 0.0005A       | 0.069 ± 0.02 B     | 0.060 ± 0.02 B         | 8.78 ± 3.20 A                          |

Los datos representan el promedio 30 unidades experimentales ± desviación estándar, letras diferentes indican diferencia significativa.

### 5.3 Análisis Proteínico de harina de *Tenebrio molitor*

Tras la evaluación de las dietas artificiales, fue determinado el nitrógeno presente en la harina obtenida de las larvas de *T. molitor* (figura 10) (cuadro 11), arrojando una concentración de nitrógeno, de 10.39 y 10.73 % para el control y las microcápsulas respectivamente. Siendo la dieta gelificada con 3.69 % el tratamiento con la menor cantidad de nitrógeno convertido, entre los tratamientos

evaluados. De la misma forma el control y la dieta microencapsulada no presentaron diferencia significativa entre sí en el contenido de proteína cruda ganada al ser de 64.99 % y 67.07 % respectivamente, presentando con la dieta gelificada solamente un 23 % de proteína cruda total. Existiendo diferencia significativa entre la gelificación y el resto de los tratamientos.

Cuadro 11. Contenido de nitrógeno y proteína en harina de *Tenebrio molitor* alimentadas con tres dietas artificiales.

| Tratamiento   | % Nitrógeno (g/100 g) | % Proteína (g/100 g) |
|---------------|-----------------------|----------------------|
| Control       | 10.39 ± 0.54 A        | 64.99 ± 3.41 A       |
| Microcápsulas | 10.73 ± 0.34 A        | 67.07 ± 2.13 A       |
| Gelificación  | 3.69 ± 0.59 B         | 23.09 ± 3.69 B       |

Los datos representan el promedio 30 unidades experimentales ± desviación estándar, letras diferentes indican diferencia significativa.



Figura 10. Harina de *Tenebrio molitor* alimentada con tres dietas artificiales diferentes donde A es control, B microcápsulas y C gelificación.

#### 5.4 Materia seca de harina de *Tenebrio molitor*

Las harinas obtenidas en la presente investigación mostraron un contenido de humedad mayor al 60 % para los tres tratamientos, siendo la gelificación la dieta que presentó un ligero aumento en la materia seca con un 32.60 %, seguido por el

control y las microcápsulas con 29.86 y 29.39 % respectivamente (cuadro 12). Por otro lado, estos resultados no evidencian diferencia significativa entre los tratamientos evaluados.

Cuadro 12. Contenido de humedad presente en harina de *Tenebrio molitor* alimentadas con tres dietas artificiales.

| Tratamiento   | Peso húmedo 100 d | Peso Seco 100 d | Materia Seca % |
|---------------|-------------------|-----------------|----------------|
| Control       | 46.05 ± 0.86 B    | 13.75 ± 0.25 B  | 29.86 ± 0.0 B  |
| Microcápsulas | 55.130 ± 0.64 A   | 16.20 ± 0.18 A  | 29.39 ± 0.0 A  |
| Gelificación  | 38.69 ± 0.50 C    | 12.61 ± 0.16 C  | 32.60 ± 0.0 C  |

Los datos representan el promedio 30 unidades experimentales ± desviación estándar, letras diferentes indican diferencia significativa.

### 5.5 Mortalidad Larvaria

En el transcurso de la experimentación, se realizó un monitoreo de las larvas vivas por tratamiento propuesto, en el cual se observó una tasa de supervivencia mínima del 87.8 %, resultado obtenido en la dieta control. Siendo la dieta microencapsulada aquella con un mayor porcentaje de supervivencia con 90 %, seguido por la gelificación con 88.9 %. Sin embargo, dichos resultados no probaron ser significativamente diferentes entre sí (Cuadro 13).

Cuadro 13. Porcentaje de larvas de *Tenebrio molitor* vivas alimentadas con tres dietas artificiales.

| Tiempo (días) | Tratamiento  |               |              |
|---------------|--------------|---------------|--------------|
|               | Control      | Microcápsulas | Gelificación |
| 10            | 100 ± 0.0 A  | 100 ± 0.0 A   | 100 ± 0.0 A  |
| 20            | 95.6 ± 1.5 A | 96.7 ± 1.0 A  | 97.8 ± 1.2 A |
| 30            | 94.5 ± 1.2 A | 95.6 ± 1.5 A  | 96.7 ± 1.0 A |
| 40            | 92.2 ± 0.6 A | 94.5 ± 1.5 A  | 95.6 ± 1.5 A |
| 50            | 91.1 ± 0.6 A | 94.4 ± 1.5 A  | 94.4 ± 1.2 A |
| 60            | 91.1 ± 0.6 A | 93.3 ± 1.7 A  | 93.3 ± 1.0 A |
| 70            | 90.0 ± 0.0 A | 92.2 ± 1.2 A  | 93.3 ± 1.0 A |
| 80            | 88.9 ± 0.6 A | 91.1 ± 0.6 A  | 92.2 ± 0.6 A |
| 90            | 88.9 ± 0.6 A | 90.0 ± 0.0 A  | 92.2 ± 0.6 A |
| 100           | 87.8 ± 0.6 A | 90.0 ± 0.0 A  | 88.9 ± 0.6 A |

n= Promedio de 90 larvas ± desviación estándar, letras diferentes representan diferencia significativa.  
p=0.05 > para todos los casos.

## 6. Discusión

### 6.1 Incremento de peso larvario

El aumento de peso larval evaluado para los tratamientos propuestos en el presente trabajo arrojó resultados superiores a los reportados a los 45 días por Zim y col., (2022), quienes para una dieta basada en 60 % salvado de trigo y 40 % alimento para pollos y otra en 50 % cítricos y 50 % salvado de trigo, de 20.01 y 14.42 mg respectivamente. Mientras que, en la presente investigación, se alcanzaron aumentos de peso larvario de 74.6, 47.3 y 38.7 mg, para microcápsulas, zanahoria y gelificación respectivamente. Sin embargo, a los 30 días, las dietas evaluadas mostraron un incremento del peso larvario, inferior al reportado por Rumbos y col., (2021) de 130, 108, 90 y 80 mg, para lupino, triticale, avena y alfalfa respectivamente.

### 6.2 Índice de Conversión Alimentario

El índice de conversión alimentario que se obtuvieron, transcurridos los 100 días, no fueron tan favorables como los reportados por Rumbos y col., (2021), para sus dietas elaboradas con salvado de trigo y levadura (9:1), chícharo, triticale, frijol y avena, arrojando un ICA de 2.3, 1.7, 2.6, 2.9 y 3.1 Kg, respectivamente. Sin embargo, las dietas utilizadas en la presente investigación demostraron obtener ICA's superiores al de las dietas propuestas por Rumbos y col., (2020), quienes evaluaron harina de lenteja y harina de trigo como sustrato y dieta con valores promedios de 8.6 y 14.9 Kg, respectivamente. Además, autores como Dossey y col., (2016), reportan valores de ICA's de 12.7, 5.9 y 2.3 kg, para la producción de 1 Kg de proteínas convencionales de res, puerco y pollo respectivamente, valores inferiores a los obtenidos con las dietas artificiales suministradas a larvas de *T. molitor*.

### 6.3 Contenido proteínico de harina de *Tenebrio molitor*

El contenido proteico obtenido en las harinas de larvas de *T. molitor* alimentadas con la dieta microencapsulada y la dieta control mostraron una alta tasa de conversión de proteína ya que presentaron un aumento mayor al 15 y al 13 % respectivamente, comparado con la harina de *T. molitor* presentada por Djouadi y col., (2022). Quienes proponen una dieta a base de harina de trigo, alimento para

pollos, manzana y zanahoria, obteniendo 51.20 % de proteína. Sin embargo, proponen el uso de una dieta secundaria no especificada en el artículo, para la limpieza del tracto intestinal del insecto, aunado a un periodo de 24 a 48 horas de inanición. Por lo que la omisión de la dieta secundaria podría influir en la proteína presente en el insecto al momento de ser procesado.

Por otro lado, los resultados presentados por Liu y col., (2020), mostraron tasas inferiores al 25 % de la conversión proteica de larvas alimentadas con naranja, zanahoria y calabaza. Mientras que Rumbos y col., (2020) evaluaron dietas basadas en productos de origen animal y vegetal para la crianza de *T. molitor*, obteniendo los valores más altos con una tasa de conversión del 68.1 % con una dieta a base de suero de leche, alcanzando una tasa máxima de conversión del 64 % para las dietas basadas en vegetales tales como trigo, zanahoria y papa. Valores muy similares a los obtenidos con las microcápsulas y la dieta control. Sin embargo, la dieta gelificada, mostró ser aquella con el menor contenido proteico, esto debido posiblemente a la rápida pérdida de humedad de la gelificación, provocando una baja en el consumo de esta, ya que como reporta Özsoy, (2019), la humedad presente tanto en el ambiente como en la dieta de *T. molitor*, tiene un efecto directo en los patrones de alimentación, la velocidad de crecimiento larval, el aumento de peso larval, la mortalidad y la efectividad reproductiva.

#### 6.4 Materia seca de harina de *Tenebrio molitor*

La materia seca obtenida tras la desecación de la harina obtenida a partir de larvas de *T. molitor* alimentadas con dos dietas artificiales fueron muy similares a los reportados por Castro y col., (2017) quienes, con su dieta basada en trozos de papa, zanahoria, manzana y masa cruda de harina de maíz, arrojaron valores de entre 38.6 y 30.52 %, teniendo una diferencia de solo el 6 % con respecto al obtenido con la dieta gelificada.

#### 6.5 Mortalidad

En el presente trabajo al evaluar el índice de supervivencia larvaria, se observaron porcentajes superiores al 87 %, valores similares a los reportados por Zim y col., (2022), quienes al evaluar una dieta basada en 60 % salvado de trigo y 40 % alimento para pollos, obtuvieron un porcentaje de supervivencia mayor al 93 %. De

la misma forma Rumbos y col. (2021), reportaron valores del 84 % con avena. Por otro lado, Miček y col., (2021), reportaron dietas con valores inferiores a los alcanzados con las dietas microencapsuladas y gelificadas, obteniendo 75 %, 60 % y 55 %, de supervivencia para papa cruda, suero de leche seco y salvado de trigo respectivamente. Así mismo Valores de supervivencia larval inferiores al 52 % y 24 % fueron reportados por Rumbos y col., para mezcla leguminosas y alfalfa respectivamente. A su vez como Zim y col., (2022), cuya supervivencia fue de 19.25 % y 2 % para cítricos y jitomate respectivamente.

## 7. Conclusiones

Los resultados obtenidos en el presente trabajo indicaron que, si bien es posible la elaboración de una dieta gelificada apta para el desarrollo de larvas de *T. molitor*, al presentar una mortalidad estadísticamente similar al resto de tratamientos, presentó el menor rendimiento para el incremento de peso con respecto al resto de tratamientos. Sin embargo, más pruebas son necesarias para determinar el desempeño de la matriz gelificada bajo diferentes densidades poblacionales, aumentando el aprovechamiento de la vida útil de la dieta, previo a su desecación. Por otro lado, las larvas de *T. molitor* alimentadas con una dieta artificial microencapsulada arrojaron un incremento del peso por lo menos dos veces mayor al obtenido con el control. Presentando, además, una disminución del índice de conversión alimentario del 12.54 %. Alcanzando además un contenido de nitrógeno del 10.73 %. Mostrando ser la dieta más adecuada para la cría de *T. molitor* bajo condiciones de laboratorio. Así mismo es observable que la cría de *Tenebrio molitor*, alimentadas con dietas artificiales, ofrece la obtención de harinas ricas en proteína, obteniendo tasas de conversión proteica del 67.28 %, presentando un aumento del 18.88 % en la tasa teórica esperada. Dados los resultados obtenidos se propone el uso de dietas microencapsuladas como técnica para la obtención de harinas y piensos ricos en proteína, como suplemento en las dietas avícolas, piscícolas e incluso humanas. Además de tener el potencial de ser usada en la fase adulta del insecto, ya que en esta fase podría presentarse la mayor concentración de aminoácidos y proteína.

## 8. Referencias

**A.O.A.C.** Official Method; Protein (crude) in animal feed, forage (plant tissue), grain and oilseeds. Official Methods of Analysis Association of Official Analytical Chemist USA. **2001**.

**Abril S.**, Pinzón M., Hernández-Carrón M. y Sánchez AdP. Edible insects in Latin America: A sustainable alternative for our food security. *FIN*. **2022**; vol. 9:904812.

**Aceituno M**, Hernández E. Dietas artificiales: evolución, retos y tendencias. Ciudad de México, México: S y G editores, **2020**; vol. 22, 421-448.

**Agnihotri N**, Mishra R, Goda C, Arora M. Microencapsulation – A novel approach in drug delivery: A review. *IGJPS [serie en internet]* **2012** [consultado el 10 de enero 2022]; Vol.2:1-20.

**Behmer, S.** Insect Herbivore Nutrient Regulation. *ARE [serie en internet]* **2009**

**Beukeboom, L.**, Size matters in insects – an introduction. *Entomol Exp Appl*, **2018**; 166: 2-3

**Bogdanow, E.** About the Breeding of Larvae in Usual Flesh Flies (*Calliphora vomitoria*) (Diptera: Calliphoridae) in Sterilized Nutrients. En: Archive for the entire physiology of man and animals. *European Journal of Physiology*. Alemania, **1906**:113:97-95

**Castro C.**, Cervantes J., Schettino B. and Noguera N. Comparación de cinco dietas alimenticias en la cría de *Tenebrio molitor* L. (COLEOPTERA: TENEBRIONIDAE). *EM*, **2017**; 4:616-620.

**Celis, P.** La domesticación y crianza de insectos comestibles: una línea de investigación poco explorada y con gran potencial para el desarrollo sostenible y la seguridad alimentaria en México. *FEM [serie en internet]* **2018** [Consultado el 06 de diciembre 2021]; Vol.4(2):66–79.

**Cerna A**, Coronado M, Doria M, García P, Fachin G. Formulación de dieta artificial

para la crianza de *Spodoptera frugiperda* utilizando insumos de la región de San Martín. RAA [serie en internet] **2021**[consultado el 04 de abril 2022]; Vol.1:40-52.

**Chacón** Y, Garita C, Vaglio C, Villalba V. Desarrollo de una metodología de crianza en laboratorio del gusano cogollero del maíz *Spodoptera frugiperda* (Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) como posible hospedante de insectos biocontroladores de interés agrícola. TM [serie en internet] **2009** [consultado el 5 de mayo 2022]; Vol.22:28-37.

**Deladino** L, Anbinder P, Navarro A, Martino M. Caracterización fisicoquímica y liberación de extractos de yerba mate encapsulados UNP [serie en internet] **2009** [consultado el 01 de mayo 2022]:90-96.

**Djouadi** A., Sales J., Carvalho M. y Raymundo A. Development of healthy protein-rich crackers using *Tenebrio molitor* Flour. MDPI. **2022**; vol. 11:5, 702.

**Dossey** A., Morales J. y Rojas M. Insects as sustainable food ingredients. Academic Press. Cambridge, United States, **2016**. Vol. 1.3:130.

**Dunford** J, Kaufman P. Lesser mealworm, litter beetle, *Alphitobius diaperinus* (panzer) (Insecta: Coleoptera: Tenebrionidae) [monografía en internet]. California, Estados Unidos de América: U.S. Department of Agriculture, UF/IFAS Extension Service, University of Florida, **2006** [consultado el 10 de enero 2022].

**Elsayeh** W., Cook C. y Wright G. B-Vitamins Influence the Consumption of Macronutrients in Honey Bees. Front. Sustain. Food Syst. **2022**; vol. 6:804002.

**FAO**. Soluciones ganaderas para el cambio climático [monografía de internet]. Roma, Italia: Food and Agriculture Organization (FAO), **2018** [consultado el 02 de marzo 2022].

**Finney**, G., T. W. Fisher. Cultivo de insectos entomófagos y sus huéspedes. En: De Bach, P. (Ed.). Control biológico de las plagas de insectos y malas hierbas. **1964**[Consultado el 15 de mayo 2022]; Vol.54:165-187.

**Gastón** Jara F. Historia de vida de insectos y anfibios en humedales del bosque andino-patagónico.BB [serie en internet] **2018**; [Consultado el 1 de marzo 2022]; 40

**Huis** A, Itterbeeck J, Klunder H, Mertens E, Halloran A, Muir G, et al. Edible insects Future prospects for food and feed security. Roma, Italia: Food and Agriculture Organization (FAO), **2013**; vol.2:5.

**Jyothi** SRI.S\*, Seethadevi A, Prabha S, Muprasanna P, Pavitra P. Microencapsulation: a review. IJPBS [serie en internet] **2012** [Consultado el 27 de marzo de 2022]; Vol.3:509-531.

**Kraus**, S, Monchanin, C, Gomez-Moracho, T, Lihoreau, M. Insect Diet. En: Vonk, J, Shackelford, T. Ed Encyclopedia of Animal Cognition and Behavior. Suiza, **2019**:1- 9

**Liu** C., Masri J., Perez V., Maya C. y Zhao J. Growth Performance and Nutrient Composition of Mealworms (*Tenebrio Molitor*) Fed on Fresh Plant Materials-Supplemented Diets. MDPI, **2020**; 9:151

**Margaría**, C, Gallardo, F, Aquino, D, Ricci, E. Insectos y ambiente: el agrónomo en la secundaria. El rol de los jóvenes en demanda de hortalizas saludables y el cuidado del ambiente. Buenos Aires, Argentina. Universidad Nacional de La Plata. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, **2018**:40-52.

**Mariod** A, Mirghani M. *Tenebrio molitor* Mealworm. En: Unconventional Oilseeds and Oil Sources. Academic Press. Cambridge, United States, **2017**; Vol. 50: 331-336

**Melgar** G, Hernández A, Salinas A. Edible Insects Processing: Traditional and Innovative Technologies. CRFSFS [serie en internet] **2019** [consultado el 02 de febrero 2022]; Vol. 18:1166-1191.

**Miček** J., Adámková A., Adámek M., Borkovcová M., Bednářová y Knížková I. Fat from Tenebrionidae Bugs – Sterols Content, Fatty Acid Profiles, and Cardiovascular Risk Indexes. Pol. J. Food Nutr. Sci. **2019**; vol. 69:3, 247-254.

**Miñarro**, M, García D, Martínez-Sastre, R. Los insectos polinizadores en la agricultura: importancia y gestión de su biodiversidad. RCEMA [serie en internet] **2018** [Consultado el 14 de junio 2022]; Vol.27:81-90

**Mlček J.**, Adámek M., Adámková A., Matyáš J., Bučková M., Mrázková M., Vícha R., Vychodil R., Knížková I. y Volek, Z. Feed Parameters Influencing the Breeding of Mealworms (*Tenebrio molitor*). *Sustainability*, **2021**; vol.13:23, 12992.

**Mondragón I.**, Contreras Y. Uso de los insectos *Tenebrio molitor*, *Tribolium castaneum* y *Palembus dermestoides* (Coleoptera, Tenebrionidae) como recurso didáctico en la enseñanza de las ciencias naturales. *RI [serie en internet]* **2015** [consultado el 26 de abril 2022]; Vol. 39: 255-270.

**Moruzzo R.**, Riccioli F., Espinosa S., Secci C., Poli G. y Mancini S. Mealworm (*Tenebrio molitor*): Potential and Challenges to Promote Circular Economy. *MDPI*. **2021**; vol. 11:9, 2568.

**Múnevar, L.** Producción y caracterización de microcápsulas de aceite mineral por polimerización interfacial. Bogota, Colombia. Universidad de los andes, **2017**:01-08

**NOM 147** Cereales y sus productos. Norma Oficial Mexicana 147-SSA1-1996. [consultado el 5 de octubre 2022]

**Ong S,** Zainab I, Pyary S, Sudesh K. A novel biological recovery approach for PHA employing selective digestion of bacterial biomass in animals. *AMB [serie en internet]* **2018** [consultado el 18 de mayo 2022]; Vol.102:2117-2127.

**Opio C.** GLEAM-The Global Livestock Environmental Assessment Model. [monografía de internet]. Roma, Italia. Food and Agriculture Organization (FAO), **2016** [consultado el 05 de marzo 2022].

**Özsoy A.** Modeling of development and water consumption of mealworm, *Tenebrio molitor* L., 1758 (Coleoptera: Tenebrionidae) larvae using nonlinear growth curves and polynomial functions. *TJE*, **2019**; vol. 43. 3:253-262.

**Parra R.** Revisión: microencapsulación de alimentos. *RFNAM [serie en internet]* **2010** [Consultado el 10 de enero 2022]; Vol.63:5669-5684.

**Paulo F. y Santos L.** Design of experiments for microencapsulation applications: a review. *MSE*, **2017**; vol. 77. 1327-1340.

**Pérez A**, García A, García C, Ibarra L, Otilio M, Gastelum W. Análisis nutricional y aminoácidos de harinas de *Tenebrio molitor* y *Gromphadorhina portentosa*. SE [serie en internet] **2019** [consultado el 02 de febrero 2022]; Vol.44:963-971.

**Ravzanaadii N**, Seong -Hyun K, Wonho C, Seong-Jin H, Nam-Jeong K. Value of mealworm, *Tenebrio molitor* as food source. IJIE [serie en internet] **2012** [consultado el 02 de febrero 2022]; Vol.25:93–98.

**Rumbos C.**, Bliamplias D., Gourgouta M., Michail V. y Athanassiou, C. Rearing *Tenebrio molitor* and *Alphitobius diaperinus* Larvae on Seed Cleaning Process Byproducts. *Insects*, **2021**; vol.12:4, 293.

**Rumbos C.**, Karapanagiotidis I., Mente E., Psafakis P. y Athanassiou C. Evaluation of various commodities for the development of the yellow mealworm, *Tenebrio molitor*. *Scientific Reports*, **2020**; vol.10:1.

**Salamanca J**, Varón E, Santos O. Cría y evaluación de la capacidad de depredación de *Chrysoperla externa* sobre *Neohydatothrips signifer*, trips plaga del cultivo de maracuyá. CCA [serie en internet] **2010** [consultado el 7 de marzo 2022]; Vol.11:31-40.

**Soto J**, Lannacone J. Efecto de dietas artificiales en la biología de adultos de *Chrysoperla externa* (Hagen, 1861) (Neuroptera: Chrysopidae). AZM [serie en internet] **2008** [consultado el 07 de marzo 2022]; Vol. 24:1-22.

**Yusef M**. Una mirada a la técnica del insecto estéril para control de plagas [monografía en internet]. Buenos Aires, República de Argentina: Comisión Nacional de Energía Atómica, **2020** [consultado el 07 de marzo 2022]; Vol.3:357-358 pp.

**Zim J.**, Sarehane M. y Bouharroud R. The mealworm *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae) as a potential candidate to valorize crop residues. EDPS. **2022**; vol.337.

**Zumbado M.**, Azofeifa D. Insectos de importancia agrícola. Heredia, Costa Rica: Programa Nacional de Agricultura Orgánica (PNAO), **2018**; vol.1:15.