

MANUAL TÉCNICO

PARA LA PRODUCCIÓN Y PROCESAMIENTO

DE *TENEBRIO MOLITOR*
(GUSANO DE HARINA)



Centro Nacional de
Ciencia y Tecnología
de Alimentos

Créditos

Autores:

**Geilyn Milieth Arias-Leitón,
Ana María Quirós-Blanco,
Ileana Maricruz Bermúdez-Serrano**

Centro Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos, Universidad de Costa Rica y Carrera de Ingeniería de Alimentos Sede de Guanacaste, Liberia, Costa Rica.

Sergio Jansen-González

Escuela de Biología, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.

Revisores:

Ariana Quirós Morera

Promotora de Comercio Exterior de Costa Rica (PROCOMER).

TABLA DE CONTENIDO

1. Introducción	06
2. Metodología	07
3. Generalidades y ciclo de vida del <i>Tenebrio molitor</i>	07
4. Producción primaria del <i>Tenebrio molitor</i>	10
4.1. Establecimiento de una granja	10
4.1.1. Infraestructura requerida	10
4.1.2. Jaulas	10
4.1.3. Alimentación	11
4.1.4. Nidos, escondites y ponederos	12
4.2. Principales variables a controlar durante la cría	12
4.2.1. Temperatura y humedad	12
4.2.2. Patógenos y enfermedades	13
4.2.3. Depredadores	13
4.2.4. Otros organismos de importancia	14
4.2.5. Contaminantes químicos	15
4.3. Etapas de la producción primaria	16
4.3.1. Reproducción y crecimiento	16
4.3.2. Separación de larvas y pupas para obtención de pie de cría	17
4.3.3. Cosecha y recolección	18
4.3.4. Sacrificio	19
4.3.5. Almacenamiento y transporte	19
4.4. Gestión de la inocuidad y calidad durante la producción	20
4.5. Automatización de procesos	21
5. Procesamiento de <i>Tenebrio molitor</i>	22
5.1. Infraestructura requerida	22
5.2. Permisos regulatorios	26
5.2.1. Exportación	29
5.3. Procesos de manufactura	29
5.3.1. Recibo de materia prima	29
5.3.2. Elaboración de larvas deshidratadas	31
5.3.3. Elaboración del polvo de larva	34
5.3.4. Elaboración de aceite de larva	37
5.3.5. Empaque y etiquetado	39
5.3.6. Almacenamiento y transporte	42
5.4. Aplicaciones de los productos	43
5.5. Gestión de la inocuidad y calidad durante el procesamiento	43
5.5.1. Peligros físicos, químicos y biológicos	44
6. Consideraciones finales	47
7. Agradecimientos	47
8. Glosario	48
9. Referencias	49

TABLA DE FIGURAS

Figura 1. Fases de huevo y larva de <i>Tenebrio molitor</i> . A, masa de huevos dejada en el sustrato por hembras adultas adheridos al fondo del recipiente y con pedazos de sustrato pegados. B, huevo individualizado, longitud aproximada: 2 mm. C, larva recién eclosiona.	08
Figura 2. Fases de pre-pupa, pupa y adulto de <i>Tenebrio molitor</i> . A, estadio antes de convertirse en pupa (pre-pupa), note la forma de “C” que adquiere el cuerpo. B, estadio temprano de pupa. C, estadio final de pupa, un par de días antes de emerger como adulto.	09
Figura 3. Ejemplo de instalación de unidad productiva para <i>Tenebrio molitor</i> . Arriba, elementos mínimos que la componen. Abajo, ejemplo de montaje de la unidad.	18
Figura 4. Diagrama de proceso para la elaboración de larvas deshidratados.	31
Figura 5. Larvas deshidratadas.	33
Figura 6. Diagrama de proceso para la elaboración de polvo de larva.	34
Figura 7. Polvo de larva <i>Tenebrio molitor</i>	36
Figura 8. Diagrama de proceso para la elaboración de aceite y polvo de larva desgrasado.	37
Figura 9. Aceite de larva <i>Tenebrio molitor</i>	39

TABLA DE CUADROS

Cuadro I. Requisitos de infraestructura, equipos y utensilios para empresas procesadoras de alimentos.	23
Cuadro II. Principales leyes y reglamentos que aplican al uso de insectos comestibles en alimentos procesados.	27
Cuadro III. Requisitos para la recepción de larvas de <i>Tenebrio molitor</i>	30
Cuadro IV. Descripción de etapas del proceso de elaboración de larvas deshidratadas de <i>T. molitor</i>	32
Cuadro V. Descripción de etapas del proceso de elaboración de polvo de larva de <i>T. molitor</i>	35
Cuadro VI. Descripción de etapas del proceso de elaboración de aceite de larva y polvo desengrasado.	38
Cuadro VII. Requisitos de etiquetado obligatorio para alimentos preenvasados.	40
Cuadro VIII. Peligros físicos, químicos y biológicos en larvas de <i>Tenebrio molitor</i>	45
Cuadro IX. Aprovechamiento y manejo de residuos orgánicos en la producción de <i>Tenebrio molitor</i>	46

1. INTRODUCCIÓN

Desde la antigüedad, el consumo de insectos como fuente de alimento ha sido una parte integral de la historia humana (Lange & Nakamura, 2021). Con el crecimiento poblacional global y los desafíos ambientales actuales del sistema alimentario, surge la necesidad urgente de explorar alternativas alimenticias sostenibles que sean beneficiosas para la salud humana y el medio ambiente (La Rosa et al., 2024; Crippa et al., 2021).

Los insectos comestibles, como el *Tenebrio molitor*, conocido comúnmente como gusano de la harina, son una excelente fuente de nutrientes tanto para el consumo humano como para suplementos dietéticos y alimentación animal. Este insecto se destaca por su facilidad de cría y bajo costo de producción, ya que requiere menos espacio y recursos en comparación con la ganadería y las aves de corral. Además, presenta un ciclo de vida corto, lo que lo hace aún más eficiente para la producción (Machona et al., 2024; Da Silva et al., 2024).

Actualmente, el *T. molitor* se puede consumir en forma de larvas entera, en polvo o aceites, que se puede aplicar en diversos productos alimenticios (Machona et al., 2024). De esta manera, se aprovecha su alto contenido de nutrientes, especialmente de proteína, ácidos grasos esenciales y micronutrientes. En Costa Rica, este insecto cuenta con permisos regulatorios por parte de SENASA y es reconocido como una especie exótica ornamental razón por la cual ha despertado interés en la producción industrial de alimentos en el país. No obstante, la falta de información sobre su producción adaptada a las condiciones locales es una de las razones que ha limitado su expansión.

Este manual busca abordar esta necesidad al proporcionar una guía técnica y práctica para establecer la cría y procesamiento de *Tenebrio molitor* de manera eficiente, facilitando así una mayor apertura en el mercado nacional e internacional.

2. METODOLOGÍA

Para la elaboración de este manual se empleó una metodología integral que incluyó varias etapas clave. Se realizaron visitas a granjas nacionales especializadas en la cría *T. molitor*, permitiendo observar directamente las prácticas de manejo, producción y procesamiento. Además, se llevaron a cabo entrevistas con productores nacionales y extranjeros en América Latina, recopilando información sobre experiencias, desafíos y mejores prácticas en la producción de este insecto.

Se realizó una exhaustiva consulta bibliográfica, revisando manuales de cría, documentos técnicos y legislación relacionada con la producción y procesamiento de *T. molitor*, tanto a nivel costarricense como internacional. También se investigaron publicaciones científicas recientes para evaluar las últimas tendencias e innovaciones en este campo. La información recopilada está adaptada al contexto de Costa Rica, garantizando que las recomendaciones sean prácticas y efectivas para los productores locales.

3. GENERALIDADES Y CICLO DE VIDA DEL *TENEBRIO MOLITOR*

Tenebrio molitor es un escarabajo (orden Coleoptera, familia Tenebrionidae) cuyas larvas, conocidas como gusanos de harina, comenzaron a utilizarse en Europa desde la década de 1920 como fuente de proteína para animales y humanos. Este insecto presenta un ciclo de vida con metamorfosis completa, que incluye cuatro fases: huevo, larva, pupa y adulto. Las fases larva y adulto son las que se alimentan de granos, principalmente cereales molidos. Tanto los adultos (hembras y machos) como las larvas son gregarios, lo que significa que se crían en grupos numerosos. Aunque los adultos poseen alas desarrolladas, han perdido su capacidad de vuelo, probablemente debido a la domesticación por el ser humano. Tanto adultos como larvas viven dentro del volumen de cereal molido que consumen, nos referiremos de ahora en adelante a este volumen de cereal como sustrato.

La cópula se realiza dentro del mismo recipiente que contenga al sustrato y los adultos, la postura de los huevos se hace por parte de las hembras dentro del sustrato con un aparato reproductor telescópico con el que los entierran unos pocos milímetros bajo la superficie y fijan los huevos generalmente a las paredes horizontales del recipiente (Figura 1A) o los colocan dentro de espacios entre objetos o ranuras de un milímetro. Los huevos son blanquecinos y miden unos 2 mm (Figura 1B).

La larva eclosiona entre 7-10 días después de la postura y mide alrededor de 2 mm (Figura 1C). Las larvas entonces comienzan a alimentarse de partículas del cereal molido (sustrato). Las larvas conforme crecen pasan por varios eventos de muda (Cotton, 1929) en los que se desprende la cutícula del exoesqueleto anterior para así aumentar de tamaño (Figura 1 D-E). El tiempo de desarrollo de la larva desde su emergencia hasta alcanzar tamaño de sacrificio es alrededor de 3 meses con variaciones considerables (Cotton, 1929) que pueden estar influidas por la calidad y tipo de alimento ofrecidos (Fraenkel, 1950; Morales-Ramos et al., 2010; Rumbos et al., 2020), la temperatura (Eberle et al., 2022), la oferta de agua (Murray, 1968; Urs & Hopkins, 1973), la densidad (Zaelor & Kitthawee, 2018), entre otros factores.

Las larvas que alcanzan el tamaño máximo (aprox. 3 cm de largo) pueden entrar en fase de pre-pupa, que se distingue de la larva porque el movimiento disminuye casi por completo y el cuerpo asume una posición en forma de “C” (Figura 2A), también la “piel” o cutícula que recubre el cuerpo se torna opaca y no brillante como en las larvas activas.

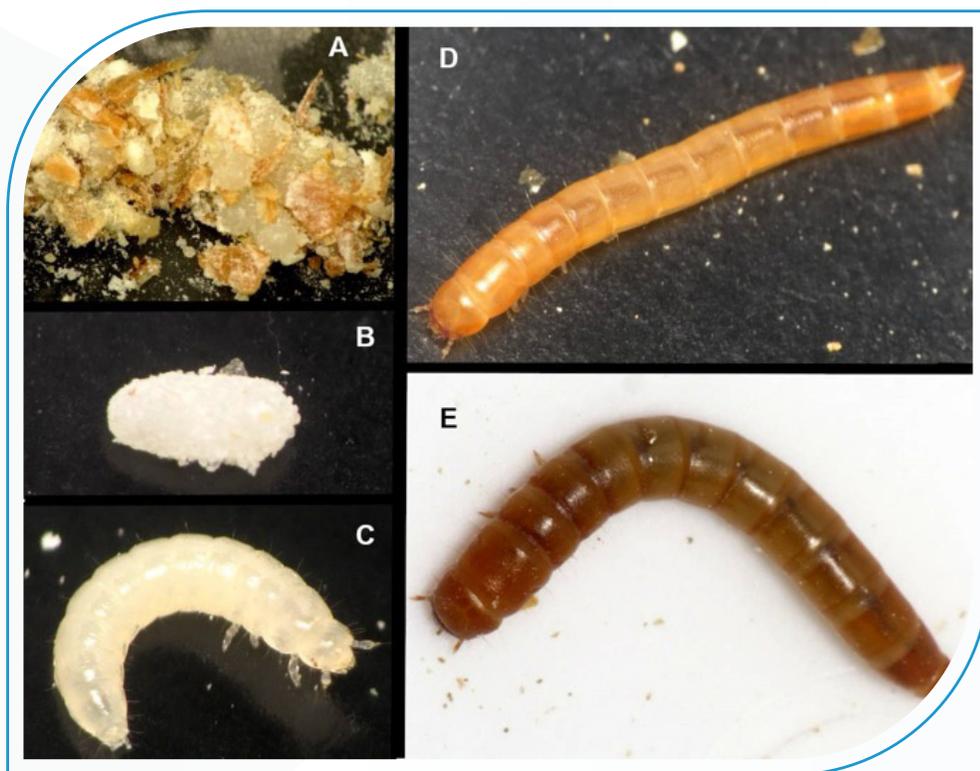


Figura 1. Fases de huevo y larva de *Tenebrio molitor*.

A, masa de huevos dejada en el sustrato por hembras adultas adheridos al fondo del recipiente y con pedazos de sustrato pegados. B, huevo individualizado, longitud aproximada: 2 mm. C, larva recién eclosiona.

Unos 3-4 días después de la fase de pre-pupa el cuerpo realiza una muda a estadio de pupa que tiene un tono crema (Figura 2B-C); la pupa no se alimenta y tiene una capacidad de movimiento muy restringida. El estadio de pupa dura aproximadamente 7 días y emerge el adulto (Figura 2D). La madurez sexual se alcanza relativamente rápido y aproximadamente a los dos días ya hay cópula y puede haber postura por parte de la hembra (Gerber, 1975). La duración del adulto puede estar entre las dos y cuatro semanas de vida, dependiendo de la calidad de alimento y la oferta de agua en forma de vegetales y frutas.

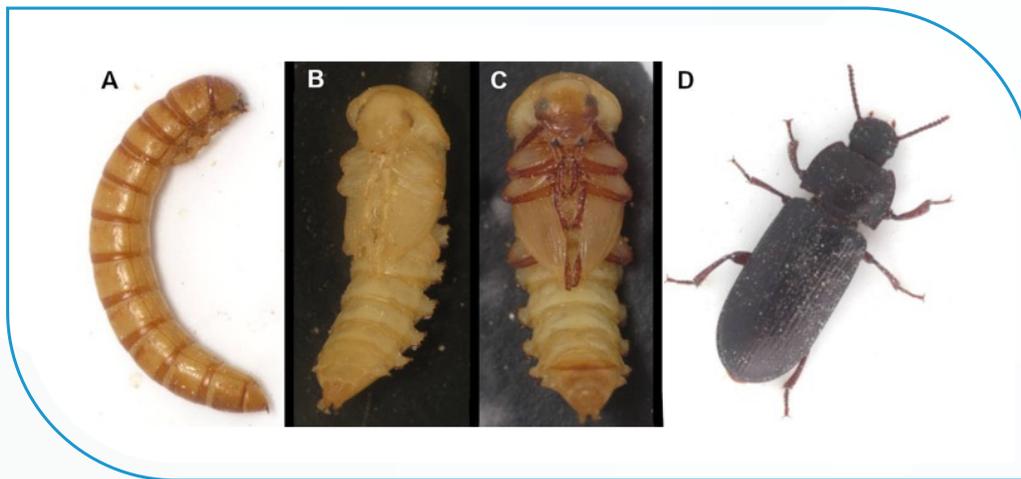


Figura 2. Fases de pre-pupa, pupa y adulto de *Tenebrio molitor*.

A, estadio antes de convertirse en pupa (pre-pupa), note la forma de "C" que adquiere el cuerpo. B, estadio temprano de pupa. C, estadio final de pupa, un par de días antes de emerger como adulto.

4. PRODUCCIÓN PRIMARIA

DEL *TENEBRIO MOLITOR*

4.1. ESTABLECIMIENTO DE UNA GRANJA

4.1.1. INFRAESTRUCTURA REQUERIDA

T. molitor se cría en condiciones de penumbra y requiere protección contra los elementos naturales. Las condiciones mínimas de espacio para su cría pueden cumplirse en cualquier lugar que ofrezca dicha protección, como un cuarto, bodega, casa o galpón, siempre y cuando esté bien ventilado y limpio.

4.1.2. JAULAS

El recipiente para cada unidad de producción puede ser de cualquier material plástico con paredes de más de 15 cm de altura (ver Figura 1). Tanto las larvas como los adultos de *T. molitor* no pueden escalar superficies lisas, por lo que cualquier recipiente con paredes lisas, sin estrías ni labrados, puede contener la población fácilmente. Aunque los adultos de *T. molitor* tienen alas desarrolladas, han perdido la capacidad de volar, probablemente debido a su domesticación por el ser humano.

No se recomienda utilizar recipientes de materiales orgánicos como cartón o madera, ya que pueden ser roídos por los insectos, creando orificios que facilitan su escape. Además, estos materiales pueden ser una fuente de contaminación al absorber humedad y albergar microorganismos perjudiciales para la producción. La higienización de estos recipientes también es más complicada y lleva al deterioro del material con el tiempo y los constantes procesos de limpieza.

4.1.3. ALIMENTACIÓN

El sustrato se refiere al principal alimento utilizado para el crecimiento de las larvas de *Tenebrio molitor*. Este sustrato no solo proporciona nutrición, sino que también actúa como el medio en el que los insectos se desplazan dentro de la unidad de producción. Dado que *T. molitor* es considerado una alternativa más sostenible a las proteínas convencionales, es fundamental elegir una alimentación que favorezca esta sostenibilidad. Por ello, se destacan las opciones basadas en fuentes locales y sostenibles, como el uso de subproductos locales o residuos alimentarios como sustrato principal, contribuyendo así a reducir el desperdicio de alimentos (Lienhard et al., 2023).

Se considera que una dieta óptima para *T. molitor* debe consistir en un 80-85% de carbohidratos, un 5-10% de levadura, y la adición de vitaminas del complejo B. La ausencia de estos nutrientes puede detener el crecimiento del insecto. El salvado de trigo es un sustrato que cumple con estos requisitos, aunque no es la única opción. Se puede complementar con otras fuentes proteicas, como la levadura de cerveza, o granos molidos como trigo, cebada, maíz, arroz, arveja o avena (Kröncke & Benning, 2022). Este sustrato puede estar compuesto por cualquier cereal o derivado de cereal, siempre que esté molido y seco. Además, es necesario incluir un alimento que sirva como fuente de agua, como verduras o frutas frescas (zanahoria, manzana, repollo, papa, pepino, brócoli, cáscara de banana o plátano). La inclusión de estos vegetales y frutas en la dieta de los insectos es fundamental no solo para proporcionar hidratación, sino también para añadir macro y micronutrientes que complementan el sustrato principal a base de cereales (Lienhard et al., 2023).

Para establecer la unidad productiva, basta con verter el material en el recipiente seleccionado, distribuirlo de manera uniforme y aplanarlo para formar una capa de 0,5 a 1 cm de grosor en el fondo (Figura 3). La fuente de agua debe ofrecerse de manera intermitente, cada 2 o 3 días, cortando los vegetales o frutas en pedazos de aproximadamente 2 cm x 2 cm y distribuyéndolos uniformemente sobre el sustrato. Es crucial que *T. molitor* no consuma vegetales en descomposición; estos deben estar frescos.

Es esencial hacer un seguimiento para asegurar que los insectos consuman este material vegetal en menos de tres días, para evitar la acumulación de humedad y la proliferación de hongos y bacterias. Si no se consumen en este tiempo, es aconsejable retirar los restos y ajustar las porciones para garantizar que se consuman en un plazo más corto en el futuro.

4.1.4. NIDOS, ESCONDITES Y PONEDEROS

Por “nidos”, “escondites” o “ponederos” nos referimos a estructuras que permiten a los adultos ocultarse de la luz y moverse más allá del fondo del recipiente. Uno de los accesorios más comunes, accesibles y fáciles de reemplazar son los cartones de huevo (Figura 3). Estos pueden cortarse y seccionarse para cubrir entre el 60% y el 80% de la superficie del recipiente. Deben colocarse de manera centralizada para evitar el contacto con las paredes del recipiente, lo que previene que los adultos alcancen las paredes y escapen (Figura 3). Los cartones de huevo no solo amplían la superficie disponible, sino que también sirven como lugares de postura para los huevos, aprovechando las ranuras y los puntos de contacto entre el cartón y el fondo del recipiente.

Además de los cartones de huevo, se pueden utilizar otras estructuras con superficies rugosas que permitan a los adultos escalar, resguardarse y moverse fuera de la superficie plana del sustrato.

4.2. PRINCIPALES VARIABLES A CONTROLAR DURANTE LA CRÍA

4.2.1. TEMPERATURA Y HUMEDAD

T. molitor se cría en condiciones de penumbra, lo que implica la necesidad de espacios con baja entrada de luz, buena ventilación, alta humedad (60-80%) y protección contra los elementos climáticos externos. La temperatura ambiental óptima para la cría de *T. molitor* está entre 22 y 28 °C; fuera de estos límites, el crecimiento es subóptimo y, en condiciones extremas, puede resultar mortal (Punzo & Mutchmor, 1980; Eberle et al., 2022).

4.2.2. PATÓGENOS Y ENFERMEDADES

Para *T. molitor* hay reportes de microorganismos patógenos, principalmente bacterias y hongos que afectan a las larvas y la pupa (Maciel-Vergara y Ros, 2017; Veldkamp et al. 2022). Los síntomas varían, pero generalmente se detecta la presencia de alguno de estos patógenos al encontrar larvas inmóviles que tienen coloración oscura o consistencia acuosa y olor desagradable.

Actualmente, no existen tratamientos específicos ni métodos establecidos para diagnosticar con anticipación o tratar estos hongos o bacterias patógenos en *T. molitor*. La principal medida es mantener una higiene continua tanto a nivel de personal colaborador como de los encierros y todos los elementos asociados. Se recomienda lavar los recipientes semanalmente con agua y jabón o desinfectarlos con etanol al 70% seguido de un secado de paño o papel. Además, los cartones y sustratos deben renovarse semanalmente. Asimismo, se recomienda también, descartar elementos orgánicos como restos de comida, heces (frass) y cartones viejos.

Una segunda medida es implementar cuarentenas de individuos externos al cultivo, muchas veces utilizados para incorporar nueva genética. Es siempre mejor mantener individuos ajenos al cultivo en un área separada por un periodo de una semana para observarlos y determinar que estén sanos, sin ninguna señal sospechosa de síntomas.

4.2.3. DEPRIDADORES

Pequeños organismos pueden presentar un riesgo significativo de depredación de tenebrios en varios estadios de desarrollo. Un depredador importante de larvas grandes es el gecko de casa (*Hemidactylus frenatus*), una especie exótica que habita edificaciones y puede representar pérdida pequeña pero constante de larvas. Otros depredadores de importancia son las arañas y hormigas. Las arañas pueden entrar en los encierros y si se deja descuidado pueden tejer telas donde caen larvas y adultos. Las hormigas representan un riesgo mayor para estadios de desarrollo más tempranos como huevos y larvas de pocos días de nacidas ya que son fáciles de cazar y cargar hacia los nidos. Una colonia de hormigas puede diezmar en pocas horas la población de larvas y huevos de un recipiente.

Contra los geckos sería ideal mantener los encierros donde están las larvas y los adultos cerrados o individualizados con una malla robusta, bien adherida a las tapas para la ventilación y por donde los geckos no pasen al interior. Contra las hormigas se recomienda controlar cualquier colonia presente en la edificación donde se tengan las larvas o colocar vaselina en lugares de contacto entre las rutas de las hormigas y donde se encuentren los encierros (patas de estantes, mesas, etc).

Cabe destacar que las hormigas también son insectos y que la aplicación de cualquier químico insecticida contra las hormigas puede afectar negativamente a las larvas del cultivo; se recomienda usar etanol al 70% en líquido para eliminar colonias o el uso de cebos comerciales específicos para hormigas en lugares apartados de los tenebrios. Sobre las arañas la medida que se puede tomar es un monitoreo constante y remoción manual de estas del local de la cría.

4.2.4. OTROS ORGANISMOS DE IMPORTANCIA

• ACAROS

Una plaga muy peligrosa para la producción de *T. molitor* son los ácaros de polvo. Estos ácaros son probablemente de diferentes especies e infestan cereales o alimentos. Un ejemplo son los ácaros del género *Tyrophagus* que son generalistas y se encuentran en prácticamente cualquier ambiente incluyendo alimentos almacenados (granos, frutos secos, semillas, hongos de cultivo, alimentos para animales, etc). Estos ácaros del polvo pueden venir en el alimento para *T. molitor* y si las condiciones son favorables pueden proliferar considerablemente en el sustrato y consumir no solamente el alimento sino también los huevos de *T. molitor*.

La principal recomendación es inspeccionar el alimento ofrecido a *T. molitor* con anticipación, si se detecta presencia de ácaros en ese alimento y la densidad es baja se puede aplicar un tratamiento térmico (calentar en horno a 60°C por una hora) para matar los ácaros y quitarle humedad al alimento. Si la densidad es considerable, al nivel de que los ácaros se agrupan en manchas de miles en el empaque del alimento, se recomienda descartar todo el lote de alimento. Si esa misma alta densidad de ácaros está en el cultivo se recomienda descartar todo el sustrato y los cartones, sustituirlos por unos nuevos y hacer una limpieza exhaustiva con agua y jabón o alcohol etílico al 70% de todos los recipientes, encierros y cuarto donde se encuentre el cultivo para bajar la población de ácaros lo máximo posible. Otra recomendación es mantener la humedad ambiental baja dentro del cultivo.

• PALOMILLAS

Más que una plaga las palomillas de la harina son una molestia. También son un grupo de varias especies muy diferentes y se encuentran en alimentos almacenados (harina de trigo, granos, chocolate, etc) y pueden ocupar y alimentarse del sustrato que se usa para cultivar *Tenebrio molitor*. Por ejemplo, para la especie *Ephestia kuehniella* las larvas viven dentro del alimento y hacen túneles de seda pegando el sustrato, lo que apelmaza el sustrato y puede dificultar el proceso de separación y colecta de larvas de *Tenebrio molitor*. Las larvas no alcanzan números significativos ya que *Tenebrio molitor* en cultivo compite y las desplaza.

Las palomillas pueden venir dentro de algún componente del sustrato o del ambiente (alimento almacenado con larvas). Puede hacerse tratamiento térmico (calentar en horno a 60°C por una hora) para eliminar las larvas y huevos de las palomillas antes de ofrecérselo al *Tenebrio molitor*.

4.2.5. CONTAMINANTES QUÍMICOS

4.2.5.1. PESTICIDAS

Un tipo de contaminación de relevancia en la cría de insectos es la presencia de insecticidas y otros pesticidas (fungicidas, herbicidas), muy utilizados en ámbitos cotidianos domésticos o agrícolas. Es recomendable restringir lo máximo posible el uso de estas sustancias tanto en la edificación donde se albergue el cultivo como en su entorno. Cualquier insecticida o trazas de insecticidas en el ambiente o en la ropa de los colaboradores puede suponer la muerte de insectos en el cultivo. Otra fuente sospechada de insecticidas es el alimento que se les administra a los insectos.

Los efectos de residuos de pesticidas en el salvado de trigo o en los vegetales en el cultivo de *T. molitor* no son claros y son difíciles de determinar ya que *T. molitor* se cría en grandes cantidades y determinar si la mortandad se debe a pesticidas u otros factores es difícil. Sin embargo, sí se recomienda conocer el origen del alimento que se les ofrece a los gusanos de harina ya que pueden de manera oculta estar afectando el rendimiento de producción; además, ya hay estudios demostrando que *T. molitor* puede acumular moléculas de pesticidas (Houbraken et al., 2016) que eventualmente podrían terminar en el consumidor.

4.2.5.2. OTROS CONTAMINANTES

Algunos productos de limpieza pueden llegar a ser tóxicos para los tenebrios, pero no hay evaluaciones de cuáles sustancias llegarían a serlo. La aplicación de agua y jabón en la limpieza de elementos y superficies y el uso de etanol al 70% en procesos de higienización representan un riesgo bajo de contaminación e intoxicación si se manejan apropiadamente.

4.3. ETAPAS DE LA PRODUCCIÓN PRIMARIA

4.3.1. REPRODUCCIÓN Y CRECIMIENTO

El número de adultos que un recipiente puede contener varía según la escala a la que se desee producir, pero se recomienda entre 20 y 30 adultos por decímetro cuadrado (10 cm x 10 cm). Para facilitar la estandarización de procesos, especialmente si se planea una producción a escala media o alta, es aconsejable adquirir recipientes con dimensiones uniformes. Una vez establecida la unidad productiva, se permite a los adultos copular y a las hembras poner los huevos en el sustrato.

Hay dos abordajes para la cría de larva de *Tenebrio molitor*. Un primer abordaje consiste en dejar los adultos en el mismo recipiente con el sustrato hasta que la mayoría de la población perezca y en el transcurso de esas semanas alimentar con frutas y verduras e ir removiendo desechos (adultos muertos, restos de cáscaras) en intervalos de tiempo establecidos (cada 3-4 días). En este abordaje las hembras adultas seguirán teniendo postura durante semanas, lo que significa que al final del proceso se obtendrán larvas de diferentes edades y tamaños. Con este método, de ser necesaria la estandarización del tamaño de las larvas para el consumidor final, se requerirá un proceso de cernido con coladores de diferente diámetro de malla para separar las larvas del sustrato por tamaño.

Un segundo abordaje consiste en dejar los adultos en la unidad de producción por tiempo corto (una semana) y moverlos a una otra unidad de producción nueva. En este abordaje la diferencia de edad entre larvas no será significativa y todas tendrán un tamaño relativamente similar haciendo menos necesaria una separación por cernido al final. Puede haber variaciones de tiempo entre estos dos abordajes y el manejo dependerá de las necesidades, habilidades y conveniencias del productor.

Tras separar la unidad de producción de los adultos se inicia el proceso de engorde de las larvas. Se pueden dejar las larvas en el recipiente con sustrato y adicionar más alimento de ser necesario. Una vez las larvas alcancen un tamaño de aproximado de medio centímetro se puede realizar un primer cernido del sustrato conteniendo las larvas para hacer renovación de este. Las larvas acumulan en el sustrato residuos sólidos en estado polvoriento y se recomienda hacer este primer cernido con colador o recipiente con malla de poro de 1 mm. Las larvas quedarán sobre el colador y el residuo caerá abajo.

Las larvas serán devueltas al recipiente original y se les ofrecerá el doble en su volumen en sustrato nuevo. El cernido y renovación de sustrato dependerá de la tasa de acumulación de residuos en el fondo del recipiente que generalmente se hace más rápida conforme las larvas aumentan de tamaño. Se recomienda hacer una inspección semanal de la capa de residuos para determinar el momento de remoción de residuos y renovación de sustrato.

4.3.2. SEPARACIÓN DE LARVAS Y PUPAS PARA OBTENCIÓN DE PIE DE CRÍA

Para reponer a los adultos que mueren durante la cría por el final de su ciclo de vida, se recomienda apartar alrededor del 10 % de las larvas producidas semanalmente para la producción de adultos destinados a pie de cría. Estas larvas se deben separar en un recipiente propio y continuar alimentándolas con sustrato y verduras hasta que alcancen el tamaño máximo y comiencen a pupar.

En los recipientes de cría, *T. molitor* puede pupar de manera esporádica, por lo que es común encontrar larvas y pupas juntas. Las pupas, al ser casi inmóviles, son susceptibles al canibalismo tanto de larvas como de adultos. Para evitar pérdidas por canibalismo, se recomienda inspeccionar constantemente los recipientes, remover las pupas y transferirlas a un recipiente exclusivo para pupas.

Para inducir la entrada en las fases de pre-pupa y pupa, se puede individualizar las larvas en pequeños recipientes plásticos con paredes lisas de al menos 3 cm de altura, como los vasos tipo “shot”. La individualización consiste en colocar una larva por recipiente y almacenar estos recipientes en un recipiente mayor para facilitar su manejo. Es aconsejable realizar inspecciones cada dos días para remover las pupas o separar los frascos con pupas y dejarlos para el desarrollo de los adultos.

Este procedimiento de individualización no es estrictamente necesario, ya que *T. molitor* puede pupar esporádicamente en los recipientes de cría. Sin embargo, si se busca un control más preciso del número de individuos y garantizar un número constante de adultos para pie de cría, este método puede ser útil.



Figura 3. Ejemplo de instalación de unidad productiva para *Tenebrio molitor*.

Arriba, elementos mínimos que la componen. Abajo, ejemplo de montaje de la unidad.
(Fotos tomadas por Sergio Jansen-González).

4.3.3. COSECHA Y RECOLECCIÓN

Para la cosecha y recolección de larvas de *Tenebrio molitor*, es necesario separar las larvas del sustrato. El primer paso en este proceso es cernir el medio utilizando un colador o tamiz con una malla de 2-3 mm. El frass y otros elementos finos caerán a través del tamiz, mientras que las larvas quedarán retenidas en él. Si el medio contiene larvas de diferentes tamaños y se desea recolectar solo los individuos más grandes, se pueden usar una serie de tamices con distintos tamaños de malla. El tamizado puede hacerse manualmente o, a nivel industrial, con máquinas tamizadoras que separan las larvas por tamaño en segundos.

Después del tamizado, pueden quedar residuos más gruesos junto con las larvas, como restos de alimentación (cáscaras, residuos de vegetales secos) y partes fibrosas del cereal (cascarilla). La remoción de estos materiales gruesos se puede realizar manualmente. Para eliminar la cascarilla, se puede utilizar soplado manual o mecánico (ventilador, soplador) y agitación del recipiente para retirar la mayor cantidad posible. Antes del sacrificio se recomienda dejar las larvas 24 horas en ayunas para un cernido final.

4.3.4. SACRIFICIO

El sacrificio generalmente se realiza de dos maneras: mediante congelación directa de las larvas vivas, o a través de un proceso térmico conocido como escaldado, en donde las se sumergen en agua a 100°C por un minuto (Mancini et al., 2019; Errico et al., 2021). Este último método tiene la ventaja de que ayuda a reducir la carga microbiológica que se encuentra naturalmente en los insectos. También se pueden combinar estos métodos de sacrificio, colocando las larvas vivas en un refrigerador o congelador por un corto tiempo, de 5 a 10 minutos, para restringir su movimiento y adormecerlas. Una vez adormecidas, pueden llevarse al proceso de escaldado, haciendo que esta etapa sea más práctica.

4.3.5. ALMACENAMIENTO Y TRANSPORTE

Una vez sacrificadas, las larvas de *Tenebrio molitor* deben almacenarse a temperaturas de refrigeración (0-4°C) si se van a consumir o procesar en los próximos días. Si se requiere un almacenamiento a largo plazo, deben conservarse a temperaturas de congelación (-18°C) para prevenir el crecimiento de microorganismos. Es crucial protegerlos de la luz directa para evitar la oxidación de las grasas y conservar la calidad del producto. Se recomienda utilizar bolsas plásticas selladas al vacío para disminuir la exposición al aire y evitar la contaminación del exterior.

En cuanto al transporte, las larvas deben trasladarse bajo condiciones controladas de temperatura y humedad, de acuerdo con los parámetros establecidos durante su almacenamiento. Además, es importante manipular los empaques con cuidado durante el transporte para evitar daños físicos al producto.

4.4. GESTIÓN DE LA INOCUIDAD Y CALIDAD DURANTE LA PRODUCCIÓN PRIMARIA

La gestión de la inocuidad y calidad durante la producción de *Tenebrio molitor* es fundamental para garantizar que el producto final sea seguro para el consumo humano. Para ello, es crucial prestar atención a la selección y manejo del sustrato utilizado, asegurando que sea de alta calidad y esté libre de contaminantes químicos y microbiológicos. Además, el sustrato debe almacenarse en condiciones óptimas para evitar el crecimiento de mohos y la proliferación de bacterias.

Es necesario controlar las condiciones ambientales en las que se crían los insectos, manteniendo la temperatura y humedad dentro de los rangos recomendados anteriormente. También es indispensable implementar un adecuado control de plagas y enfermedades.

Las prácticas higiénicas juegan un papel clave en la prevención de la transmisión de patógenos, ya que los seres humanos pueden actuar como vehículos de estos al manipular insectos enfermos o residuos del cultivo, y luego entrar en contacto con los encierros o materiales en uso. Por esta razón, se recomienda que el personal que maneja el cultivo siga estrictas medidas de higiene. Es fundamental que, antes de ingresar a las instalaciones, el personal se lave las manos con agua y jabón, y que una vez dentro, desinfecte regularmente sus manos con alcohol al 70%. Si se han manipulado insectos muertos durante las tareas de limpieza, es obligatorio lavar nuevamente las manos con agua y jabón antes de realizar cualquier otra actividad relacionada con los insectos.

La desinfección de las cajas o recipientes que contienen insectos, así como de los utensilios utilizados en su manejo, debe realizarse de manera periódica. Estos elementos deben ser lavados con agua y jabón, utilizando esponjas o cepillos para eliminar restos de alimento viejo, hongos y biopelículas de bacterias. La desinfección de utensilios y superficies puede llevarse a cabo aplicando etanol al 70% con una botella atomizadora. Es importante que los utensilios se sequen con un paño limpio o se dejen secar al aire antes de utilizarlos cerca de los insectos, ya que el etanol es tóxico para ellos.

Si se reutilizan cartones de huevo, se recomienda esterilizarlos con una solución líquida de etanol al 70%. La solución debe aplicarse uniformemente sobre los cartones con una botella atomizadora, asegurándose de humedecer toda la superficie sin excederse, para evitar que el cartón gotee. Los cartones deben dejarse secar completamente antes de colocarlos en el recinto con los insectos.

4.5. AUTOMATIZACIÓN DE PROCESOS

La cría de insectos, incluido *T. molitor*, es una actividad que requiere una gran cantidad de mano de obra, ya que para producir un kilogramo de gusanos vivos es necesario manejar cientos de adultos y miles de larvas. Además, las tareas de mantenimiento y limpieza implican una manipulación manual considerable. En granjas a gran escala, se podría considerar la automatización utilizando recipientes en estantes estandarizados, sensores de temperatura y humedad, así como robótica e inteligencia artificial para monitorear los estadios de producción y definir tareas diarias.

Actualmente, no existe un sistema estandarizado de acceso público para la automatización a gran escala en la cría de insectos. Sin embargo, algunas empresas internacionales ofrecen soluciones especializadas en este campo. Por ejemplo, Bühler Insect Technology Solutions se dedica al diseño y construcción de plantas de procesamiento de insectos (Bühler GROUP, s.f.). Asimismo, FlyFarm Systems Ltd proporciona sistemas comerciales de cría de insectos basados en tecnologías robóticas que monitorean datos en tiempo real y de manera remota (FlyFarm Systems Ltd, 2024). Por otro lado, Sealing System ofrece soluciones logísticas avanzadas para la producción de insectos, integrando tecnologías innovadoras y automatizadas para la producción eficiente de proteínas de insectos (Sealing System, s.f.).

En el caso de Costa Rica, aún no existe una empresa que lleve a cabo estos procesos. Por lo tanto, una opción viable es fomentar la financiación pública y privada para desarrollar equipos de investigación interdisciplinaria que incluyan biólogos, zootecnólogos, diseñadores industriales, ingenieros industriales, ingenieros robóticos y mecánicos, entre otros. Esta colaboración permitiría definir los parámetros y procesos adecuados para desarrollar estas tecnologías de automatización a nivel nacional.

5. PROCESAMIENTO DE *TENEBRIO MOLITOR*

5.1. INFRAESTRUCTURA REQUERIDA

La infraestructura para el procesamiento de insectos debe cumplir con requisitos que aseguran la producción de alimentos seguros y de alta calidad. Entre ellas es fundamental seguir las disposiciones generales de buenas prácticas de manufactura conforme al Reglamento Técnico Centroamericano RTCA 67.01.33:06 Industria de alimentos y bebidas procesados. Buenas Prácticas de Manufactura (BPM) - Principios Generales. Esta normativa es aplicable a todas las empresas de alimentos que operan y distribuyen productos en países centroamericanos como Costa Rica.

A continuación, se presenta un cuadro resumen con las condiciones generales que las empresas deben cumplir para elaborar productos a base de insectos como las larvas de *T. molitor*.

Cuadro I. Requisitos de infraestructura, equipos y utensilios para empresas procesadoras de alimentos.

CONDICIONES DE INFRAESTRUCTURA	REQUISITOS
ALREDEDORES	<ul style="list-style-type: none"> • Eliminar desechos sólidos y desperdicios. • Evitar atracción de insectos y roedores. • Mantener limpios los patios y estacionamiento. • Dar mantenimiento a los drenajes.
UBICACIÓN	<ul style="list-style-type: none"> • Ubicarse en zonas libres de contaminación física, química o biológica. • Fácil acceso.
DISEÑO	<ul style="list-style-type: none"> • Facilitar mantenimiento, limpieza y operación para proteger el producto terminado y evitar contaminación cruzada. • Paredes que impidan entrada de animales, insectos, roedores y otros contaminantes. • Almacenamiento separado para materia prima, producto terminado, productos de limpieza y sustancias peligrosas. • Suficiente espacio para operaciones, flujos separados, equipos y limpieza.
PISOS	<ul style="list-style-type: none"> • Material impermeable, lavable, antideslizante y no tóxico. • Superficies sin grietas ni irregularidades, con uniones redondeadas. • Drenajes con pendiente para evitar charcos.
PAREDES	<ul style="list-style-type: none"> • Paredes exteriores de concreto, ladrillo, bloque de concreto o estructuras prefabricadas. • Paredes interiores impermeables, lisas, fáciles de lavar, de color claro y sin grietas. • Uniones con curvatura sanitaria entre paredes y pisos.

<p>TECHOS</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Diseño para minimizar acumulación de suciedad, condensación, mohos y desprendimiento de partículas.
<p>VENTANAS Y PUERTAS</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Ventanas fáciles de limpiar, construidas para evitar entrada de agua y plagas. • Puertas lisas, no absorbentes, fáciles de limpiar, que abran hacia afuera y estén en buen estado. • Puertas exteriores con protección contra ingreso de plagas.
<p>ILUMINACIÓN</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Iluminación natural o artificial adecuada para operaciones unitarias. • Lámparas protegidas contra roturas en áreas de manipulación de alimentos.
<p>VENTILACIÓN</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Ventilación adecuada para evitar calor excesivo, condensación y permitir circulación de aire suficiente.
<p>ABASTECIMIENTO DE AGUA</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Disponer de agua potable suficiente y conforme a normativa específica.
<p>TUBERÍAS Y DRENAJES</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Tuberías elevadas instaladas sin cruzar líneas de procesamiento para evitar contaminación. • Evitar conexión cruzada entre sistema de desechos líquidos y agua potable para alimentos. • Diseño, construcción y mantenimiento adecuados para prevenir contaminación de alimentos y agua potable, con rejillas que impidan acceso de roedores.
<p>INSTALACIONES SANITARIAS</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Puertas que no abran directamente hacia área de producción. • Servicios sanitarios limpios, separados por sexo, con ventilación exterior, equipados con papel higiénico, jabón, dispositivos para secado de manos y basureros, separados de sección de proceso

DESECHOS SÓLIDOS

- Programa escrito para manejo adecuado de desechos sólidos.
- No permitir acumulación en áreas de manipulación, almacenamiento o trabajo.
- Recipientes lavables con tapadera para evitar atracción de insectos y roedores.
- Depósito alejado de áreas de procesamiento, bajo techo y con piso lavable.

LIMPIEZA Y DESINFECCIÓN

- Programa escrito que incluya distribución por áreas, responsables, métodos, frecuencia, vigilancia y manejo de desechos.
- Realización de limpieza y desinfección según programa establecido, con instalaciones adecuadas para utensilios y equipos.

CONTROL DE PLAGAS

- Programa detallado que incluya identificación de plagas, mapeo de estaciones, métodos y procedimientos, y hojas de seguridad de productos cuando sea necesario.
- Productos químicos utilizados deben estar registrados por la autoridad competente.
- Instalación de barreras físicas para impedir el ingreso de plagas al establecimiento.

EQUIPOS Y UTENSILIOS

- Diseñados para evitar la contaminación del alimento y facilitar su limpieza.
- Permitir desmontaje rápido y fácil acceso para inspección, mantenimiento y limpieza.
- Hechos de materiales no absorbentes, no corrosivos y resistentes a la limpieza y desinfección repetidas.

5.2. PERMISOS REGULATORIOS

En Costa Rica, aún no se ha establecido una regulación específica para la comercialización de alimentos elaborados a partir de insectos. Sin embargo, según un comunicado de prensa de la Promotora de Comercio Exterior de Costa Rica, se ha autorizado la producción y venta industrial de productos elaborados a partir de *Tenebrio molitor* (PROCOMER, 2021). Esta larva ha sido incluida en la lista de especies exóticas ornamentales de Costa Rica, según el N° SENASA-DG-R044-2021. Esto implica su exclusión de la Ley de Conservación de Vida Silvestre N° 7317 y su Reglamento N° 40548-MINAE, y su regulación por parte del Servicio Nacional de Salud Animal (SENASA) (SENASA, 2021).

Además de la cría de insectos, otras etapas de la producción también deben cumplir con diversos reglamentos supervisados por distintas instituciones. A continuación, se presenta un cuadro resumen de las leyes y reglamentos relevantes para las empresas que buscan realizar estas actividades para consumo humano en Costa Rica:

Cuadro II. Principales leyes y reglamentos que aplican al uso de insectos comestibles en alimentos procesados.

ETAPA	PERMISO	LEY O REGLAMENTO	INSTITUCIÓN QUE REGULA
CRÍA	Certificado veterinario de operación (CVO)	Ley General del Servicio de Salud Animal N° 8495 N° SENASA-DG-R044-2021	SENASA
PROCESAMIENTO	Certificado veterinario de operación (CVO)	Ley General del Servicio de Salud Animal N° 8495 N° SENASA-DG-R044-2021 CVO: código 21201 "Procesamiento y conservación de empaque de productos a base de insectos"	SENASA, MAG
PRODUCTO TERMINADO	Registro sanitario (RS)	RTCA 67.01.31:07 Alimentos procesados. Procedimiento para otorgar el registro sanitario y la inscripción sanitaria. Reglamento Técnico Centroamericano de Etiquetado General, RTCA 67.01.02:10. N° 37280 -COMEX-MEIC	ÁREA DE REGISTROS, MINISTERIO DE SALUD

Las empresas que crían y procesan insectos como *T. molitor* deben obtener un Certificado Veterinario de Operación (CVO) emitido por el Sistema Nacional de Salud Animal (SENASA). Este certificado se obtiene conforme al Reglamento General para el Otorgamiento del Certificado Veterinario de Operación N° 34859-MAG (PGR, 2008), el cual establece requisitos sanitarios, de ubicación, condiciones físicas y ambientales que deben cumplir los establecimientos, basados en el RTCA 67.01.33:06 de Buenas Prácticas de Manufactura. Este reglamento es fundamental para aquellas empresas que elaboren, importen, almacenen, fraccionen, transporten, vendan, industrialicen, empaquen, refrigeren, procesen o expendan productos y subproductos de origen animal destinados al consumo humano o animal, así como para los establecimientos dedicados al sacrificio de animales.

En el Reglamento mencionado de otorgamiento de CVO para la producción de productos a base de insectos, existe una sección específica denominada “E211 - Establecimientos de proceso de productos a base de insectos y otros invertebrados para consumo”. A continuación, se detalla la información relevante de este apartado:

- **Código y nombre de subclase de dicha actividad:** 021107 Procesamiento de productos a base de insectos y otros invertebrados para consumo.
- **Clasificación según tamaño de la empresa:**
 - **Pequeña:** Menos de 5 kg por semana.
 - **Mediana:** De 5 a 15 kg por semana.
 - **Grande:** Más de 15 kg por semana.
- **Requisitos para solicitar el CVO:**
 - Solicitud y Declaración Jurada.
 - Permiso de uso de suelo.
 - Título de propiedad o documento idóneo.
 - Factura de pago de tarifa.
 - Documento de identidad o Personería Jurídica.
 - Sistema de manejo de desechos y tratamiento de aguas residuales.
 - Viabilidad ambiental.

5.2.1. EXPORTACIÓN

Como punto adicional a esta sección, es importante considerar que, en caso de exportar, se debe revisar la regulación del país de destino. Por ejemplo, en la Unión Europea, la entidad encargada de regular es la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA), que establece que las larvas de *Tenebrio molitor* congeladas, deshidratadas y en polvo están autorizadas para su comercialización desde el 01 de junio de 2022 hasta el 01 de marzo del 2027 (AESAN, 2024). Además, se ha autorizado su utilización en productos como galletas, snacks, barritas y pastas (Errico et al., 2021).

Y en Estados Unidos, la gestión de los alimentos a base de insectos está bajo la dirección de la Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA), que los considera seguros para consumo humano según la Ley de Alimentos, Medicamentos y Cosméticos (Código de los Estados Unidos, Título 21) (Lähteenmäki-Uutela et al., 2018; FAO, 2004).

5.3. PROCESOS DE MANUFACTURA

Una vez que se ha verificado la disponibilidad de la infraestructura requerida y se han obtenido los permisos regulatorios necesarios, el productor puede iniciar el procesamiento de las larvas de *Tenebrio molitor*.

5.3.1. RECIBO DE MATERIA PRIMA

Al recibir la materia prima, el productor debe asegurarse de que esta cumpla con las condiciones y requisitos de calidad e inocuidad necesarios, los cuales se detallan en el **Cuadro III**.

Cuadro III. Requisitos para la recepción de larvas de *Tenebrio molitor*.

CRITERIO	DESCRIPCIÓN
LIMPIEZA	Deben estar limpios y libres de cualquier material extraño, como tierra o excremento, que pueda alterar el proceso.
PLAGAS Y PARÁSITOS	Deben estar exentos de plagas y parásitos.
ESTADO FÍSICO	Las larvas deben estar enteras, sin signos de daño o descomposición.
COLOR Y OLOR	Deben presentar el color y olor característicos de una larva de <i>T. molitor</i> sana.
CONTAMINANTES QUÍMICOS	Deben estar libres de contaminantes químicos como pesticidas y metales pesados.
PELIGROS BIOLÓGICOS Y FÍSICOS	Deben de estar libres de microorganismos patógenos y material extraño.
TRANSPORTE HIGIÉNICO	Deben ser transportados en condiciones higiénicas y controladas.
DOCUMENTACIÓN	Al recibirlos, se debe verificar que cuenten con la documentación adecuada, que incluya información de origen, certificación de calidad del producto y registros de transporte.

5.3.2. ELABORACIÓN DE LARVAS DESHIDRATADAS

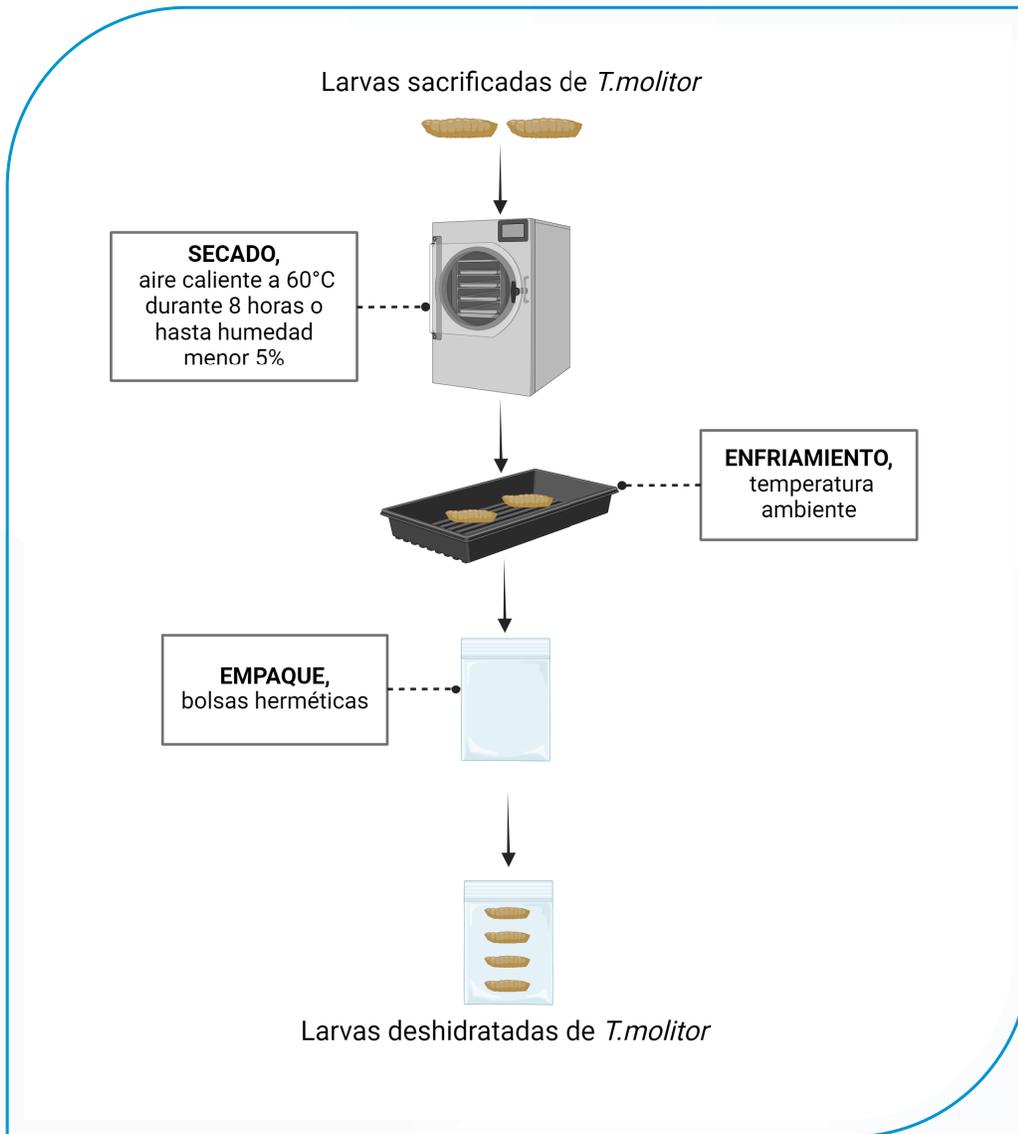


Figura 4. Diagrama de proceso para la elaboración de larvas deshidratados.
Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se puede observar la descripción de cada una de las etapas involucradas en el proceso de elaboración de este producto.

Cuadro IV. Descripción de etapas del proceso de elaboración de larvas deshidratadas de *T. molitor*.

ETAPAS	DESCRIPCIÓN
CONDICIONES PREVIAS	Realizar escaldado de larvas (a 100°C por 1 minuto) si no hubo tratamiento térmico durante el sacrificio (Turck et al., 2022).
SECADO	<p>Descongelar las larvas si ya fueron tratados térmicamente y vienen congeladas.</p> <p>Las larvas se secan en un secador de aire caliente, y las condiciones de esta etapa dependen directamente de la eficiencia del equipo utilizado. Las condiciones de referencia comúnmente empleadas son 60°C durante 8 horas; sin embargo, también se utilizan otras configuraciones, como 80°C durante 7 horas, 150°C durante 6 horas, o entre 85°C y 95°C durante 8 minutos (Ribeiro et al., 2024; Medina-Milian & Rivas-Flores, 2020; Portillo, 2017) o hasta alcanzar un 5% de humedad. La elección de las condiciones de tiempo y temperatura depende del equipo disponible, por lo que se recomienda realizar pruebas para determinar las condiciones de secado más adecuadas, garantizando un producto final que conserve su aspecto y textura (Solano et al., 2021).</p>
ENFRIAMIENTO	Las larvas se dejan enfriar a temperatura ambiente después del secado.
EMPAQUE	Las larvas deshidratadas se empacan en bolsas herméticas para proteger el producto contra humedad y oxígeno.



Figura 5. Larvas deshidratadas (Foto tomada por Milieth Arias-Leitón).

El valor nutricional de las larvas de *Tenebrio molitor* deshidratadas puede variar significativamente dependiendo de su etapa de desarrollo, el hábitat donde se crían y la dieta que reciben (Bermúdez-Serrano et al., 2023). Se estima que, teóricamente, las larvas deshidratadas de *T. molitor* contienen entre 53,0 y 66,0 g/100 g de proteína, un contenido de grasas entre 28,0 y 28,2 g/100 g, aproximadamente 2,5-3,1 g/100 g de cenizas, y entre 3,0 y 6,0 g/100 g de fibra en base seca (Da Silva Lucas et al., 2019; Corredor, 2022; Medrano, 2019; Mariod, Saeed Mirghani, & Hussein, 2017).

5.3.3. ELABORACIÓN DEL POLVO DE LARVA

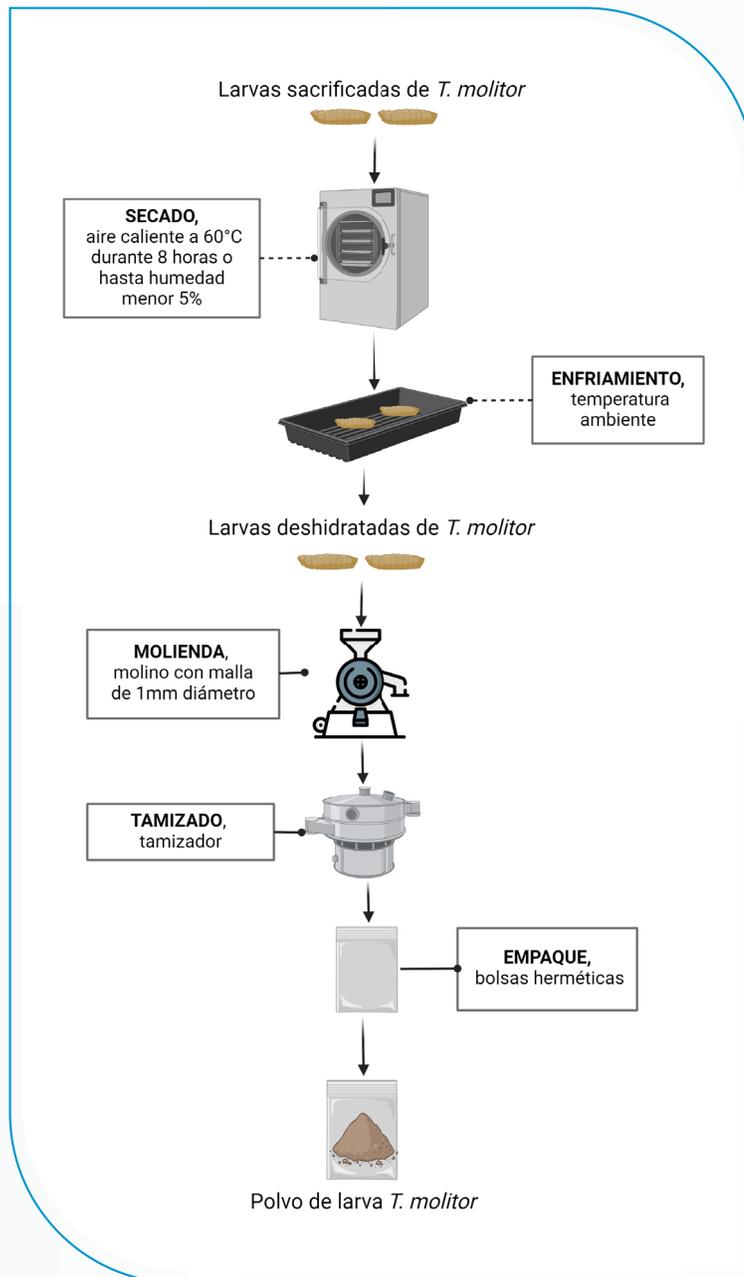


Figura 6. Diagrama de proceso para la elaboración de polvo de larva.

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se puede observar la descripción de cada una de las etapas involucradas en el proceso de elaboración de este producto.

Cuadro V. Descripción de etapas del proceso de elaboración de polvo de larva de *T.molitor*.

ETAPAS	DESCRIPCIÓN
CONDICIONES PREVIAS	Realizar escaldado de las larvas (a 100°C por 1 minuto) si no hubo tratamiento térmico durante el sacrificio (Turck et al., 2022).
SECADO	<p>Descongelar las larvas si ya fueron tratados térmicamente y vienen congelados.</p> <p>Las condiciones de referencia comúnmente empleadas son 60°C durante 8 horas; sin embargo, también se utilizan otras configuraciones, como 80°C durante 7 horas, 150°C durante 6 horas, o entre 85°C y 95°C durante 8 minutos (Ribeiro et al., 2024; Medina-Milian & Rivas-Flores, 2020; Portillo, 2017) o hasta alcanzar un 5% de humedad. La elección de las condiciones de tiempo y temperatura depende del equipo disponible, por lo que se recomienda realizar pruebas para determinar las condiciones de secado más adecuadas, garantizando un producto final que conserve su aspecto y textura (Solano et al., 2021).</p>
ENFRIAMIENTO	Las larvas se dejan enfriar a temperatura ambiente después del secado.
MOLIENDA	Las larvas deshidratados se muelen en un molino hasta obtener el polvo deseado.
TAMIZADO	Realizar un tamizado para eliminar partículas no deseadas y evitar la formación de grumos antes del empaque.
EMPAQUE	Empacar el polvo en un empaque adecuado que proteja contra la luz, humedad y oxígeno, asegurando la calidad del producto final.



Figura 7. Polvo de larva *Tenebrio molitor*. **Fuente:** *The insect Protein Store (2023)*.

Al igual que en las larvas deshidratadas, el valor nutricional del polvo de larvas de *Tenebrio molitor* puede variar considerablemente según su etapa de desarrollo, hábitat y la dieta que reciban durante su crecimiento (Bermúdez-Serrano et al., 2023). Además, el contenido nutricional puede verse afectado si el polvo está parcialmente desgrasado. Teóricamente, el contenido de proteína varía entre 44,0 y 60,0 g/100 g, mientras que la grasa total oscila entre 31,0 y 33,2 g/100 g. El contenido de fibra ronda los 3,7 g/100 g y el contenido de cenizas se aproxima a 3,9 g/100 g en base seca (Oliveira et al., 2023; Medrano, 2019; Mariod, Saeed Mirghani, & Hussein, 2017).

5.3.4. ELABORACIÓN DE ACEITE DE LARVA

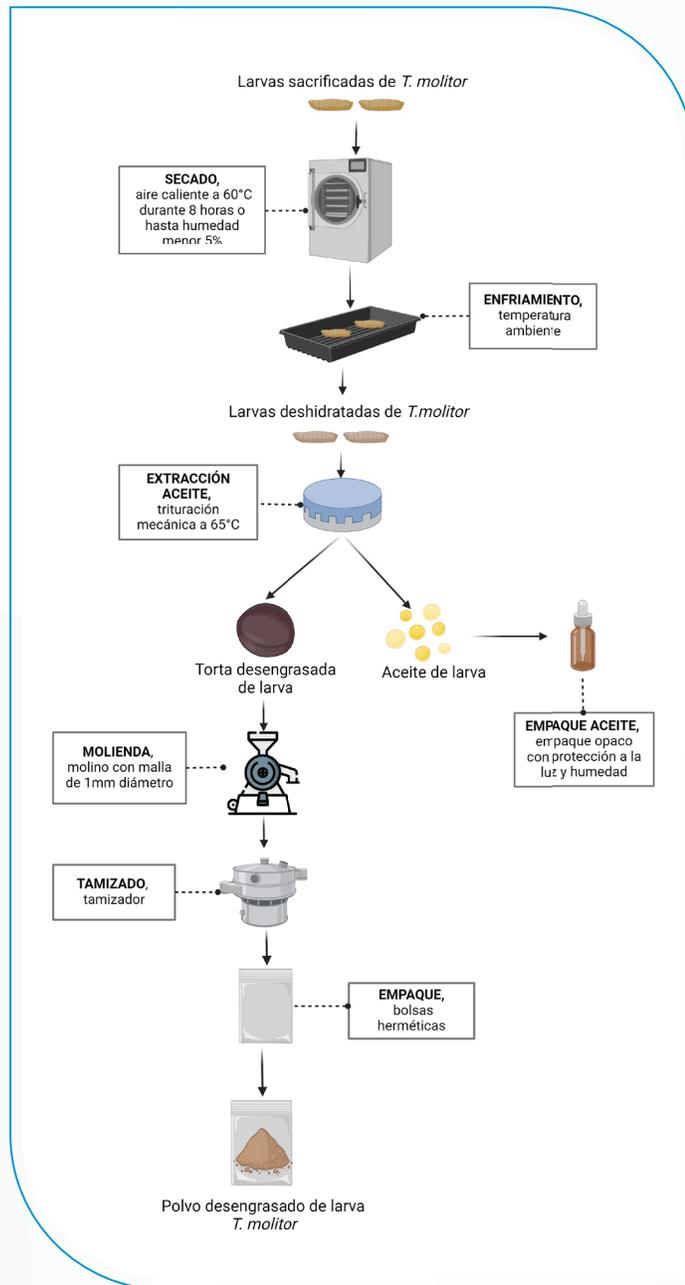


Figura 8. Diagrama de proceso para la elaboración de aceite y polvo de larva desengrasado.

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se puede observar la descripción de cada una de las etapas involucradas en el proceso de elaboración de este producto.

Cuadro VI. Descripción de etapas del proceso de elaboración de aceite de larva y polvo desengrasado.

ETAPAS	DESCRIPCIÓN
CONDICIONES PREVIAS	Realizar escaldado de larvas (a 100°C por 1 minuto) si no hubo tratamiento térmico durante el sacrificio (Turck et al., 2022).
SECADO	Descongelar las larvas si ya fueron tratados térmicamente y vienen congelados. Las larvas se secan en un secador a 60°C durante 8 horas o hasta alcanzar un 5% de humedad (Portillo, 2017).
ENFRIAMIENTO	Las larvas se dejan enfriar a temperatura ambiente después del secado.
EXTRACCIÓN DEL ACEITE	Trituración mecánica a una temperatura de 65°C para desengrasar el producto (Turck et al., 2022). Separación del aceite del insecto y obtención de una torta seca desengrasada de larvas.
EMPAQUE DEL ACEITE	Empacar el aceite en un envase específico que proteja contra la luz, humedad y oxígeno.
MOLIENDA DE LA TORTA	Moler la torta desengrasada en un molino hasta obtener polvo fino (Portillo, 2017).
TAMIZADO DEL POLVO	Realizar un tamizado para eliminar partículas no deseadas y evitar la formación de grumos antes del empaque.
EMPAQUE DEL POLVO	Empacar el polvo en un empaque adecuado que proteja contra la luz, humedad y oxígeno, asegurando la calidad del producto final.



Figura 9. Aceite de larva *Tenebrio molitor*. **Fuente:** Alibaba.com. (2024)

5.3.5. EMPAQUE Y ETIQUETADO

Actualmente, las larvas de *Tenebrio molitor* y sus productos se consideran seguros para el consumo humano. Sin embargo, es importante destacar que las personas alérgicas a crustáceos, moluscos o ácaros del polvo doméstico pueden experimentar reacciones alérgicas a los insectos presentes en los alimentos (ACSA, 2021). Por lo tanto, es necesario incluir una declaración sobre la posible alergenicidad de este ingrediente en la etiqueta del producto. Esta declaración debe indicar claramente que contiene *Tenebrio molitor* como alérgeno en sus ingredientes.

Asimismo, respecto al etiquetado general, este debe cumplir con las normativas establecidas en el Reglamento Técnico Centroamericano RTCA 67.01.07:10 “Etiquetado General de los Alimentos Previamente Envasados”. A continuación, se presenta un cuadro resumen con la información esencial que debe incluir:

Cuadro VII. Requisitos de etiquetado obligatorio para alimentos preenvasados.

ASPECTO DEL ETIQUETADO	REQUISITOS
NOMBRE DEL ALIMENTO	<ul style="list-style-type: none"> • Reflejar la verdadera naturaleza del alimento.
LISTA DE INGREDIENTES	<ul style="list-style-type: none"> • Obligatoria, excepto en alimentos de un único ingrediente. • Declarar siempre ingredientes que causan alergias (crustáceos, etc.) • Indicar posibles trazas de alérgenos si es probable su presencia.
CONTENIDO NETO	<ul style="list-style-type: none"> • Declaración en unidades del Sistema Internacional y otras unidades adicionales.
REGISTRO SANITARIO DEL PRODUCTO	<ul style="list-style-type: none"> • Número de registro emitido por la autoridad competente.
NOMBRE Y DIRECCIÓN	<ul style="list-style-type: none"> • Nombre y dirección del fabricante, envasador, distribuidor o exportador (nacional).
PAÍS DE ORIGEN	<ul style="list-style-type: none"> • Declarar el país de origen del alimento.
IDENTIFICACIÓN DEL LOTE	<ul style="list-style-type: none"> • Marcar con un número o código de lote e incluir la palabra "lote".
FECHA DE VENCIMIENTO*	<ul style="list-style-type: none"> • Fecha de vencimiento claramente marcada y visible, no alterable.
INSTRUCCIONES PARA EL USO	<ul style="list-style-type: none"> • Incluir instrucciones necesarias para el empleo adecuado del alimento.

*En cuanto a la fecha de vencimiento que se reporta en la etiqueta del producto, no existe una información definitiva sobre un tiempo específico, ya que este dependerá de la composición nutricional del producto final obtenido por cada productor y de las condiciones del procesamiento. Por lo tanto, cada productor debe realizar su propio estudio de estabilidad para determinar el periodo durante el cual el producto se mantiene apto para el consumo seguro. No obstante, en general, las larvas deshidratadas pueden tener una vida útil de hasta 1 año. El polvo de larvas puede durar entre 12 y 24 meses si se mantiene en un ambiente seco y fresco (Insect Nutrition, 2024; CreativeFoods, s.f.), mientras que el aceite de larvas puede tener una duración de hasta 2 meses.

Al seleccionar el material de empaque para productos elaborados a partir de *T. molitor*, el objetivo principal es proteger el producto del oxígeno y la humedad para evitar la oxidación de las grasas y preservar su calidad. Por ello, se recomiendan los siguientes materiales según el tipo de producto:

Para las larvas deshidratadas de *T. molitor*:

1. Bolsas de polipropileno sellables en máquinas selladoras.
2. Cubos de polipropileno copolímero.
3. Tarros cilíndricos de polietileno de alta densidad con tapa roscada.
4. Bolsas doypack de papel Kraft, con o sin ventana, y cierre hermético.
5. Bolsas metalizadas con cierre hermético y zipper.

Para el polvo de larva:

1. Bolsas de Polietileno Tereftalato/polietileno (PET/PE) de plástico laminado flexible.
2. Bolsas doypack de papel Kraft, con o sin ventana, y cierre hermético.
3. Bolsas metalizadas con cierre hermético y zipper.

Para el aceite de larva, para protegerlo de la oxidación por la luz:

1. Botellas de vidrio ámbar.
2. Frascos de Polietileno Tereftalato (PET) ámbar.

La elección del material de empaque dependerá de la disponibilidad para el productor y de los requisitos específicos indicados por el cliente.

5.3.6. ALMACENAMIENTO Y TRANSPORTE

Debido a la baja actividad de agua (A_w) de los productos elaborados a partir de *Tenebrio molitor*, se limita la proliferación de microorganismos patógenos y el deterioro de estos alimentos. Esto hace que las larvas deshidratadas y los polvos sean estables a temperatura ambiente. Por lo tanto, para su almacenamiento, estos se pueden mantener en un lugar seco y fresco para preservar su vida útil. En cuanto al aceite, se recomienda almacenarlo en un ambiente también seco y fresco, protegido de la luz directa. La exposición a la luz puede degradar nutrientes y oxidar grasas, por lo que se aconseja utilizar empaques opacos o almacenar el aceite en lugares oscuros para mantener la calidad del producto.

Para el transporte de estos productos, es crucial asegurarse de que el contenedor en el que se transporta el producto esté diseñado para prevenir la contaminación cruzada. Además, el medio de transporte debe mantenerse limpio, seco, y ser específicamente adecuado para el embalaje y transporte de productos a base de *T. molitor*, garantizando la ausencia de plagas, roedores y residuos de cargas anteriores (Noyens et al., 2021).

5.4. APLICACIONES DE LOS PRODUCTOS

Las larvas de *Tenebrio molitor* ofrecen una variedad de aplicaciones gracias a su perfil nutritivo y sostenibilidad como fuente de proteínas y grasas saludables. A continuación, se detallan algunas de sus principales aplicaciones, recordando que este campo está en continua innovación con nuevas aplicaciones y mercados emergentes:

- **Larvas deshidratados:** Se consumen como un snack saludable o se utilizan como ingrediente en la elaboración de productos como panes y galletas.
- **Polvo de larva:** Se emplea como suplemento dietético en batidos o bebidas proteicas, para la fortificación de alimentos o como ingrediente en la panificación y pastas.
- **Aceite de larva:** Se utiliza en la cocina debido a sus beneficios derivados de los ácidos grasos esenciales que contiene, aportando un perfil de grasas saludables a los productos alimenticios.

5.5. GESTIÓN DE LA INOCUIDAD Y CALIDAD DURANTE EL PROCESAMIENTO

La gestión de la inocuidad y calidad en el procesamiento de productos derivados de *Tenebrio molitor* es fundamental para asegurar que el producto final sea seguro para el consumo humano. Para lograrlo, es crucial controlar tanto la humedad como la actividad de agua (aw), manteniéndolas por debajo del 5,0% y 0,6, respectivamente, durante el procesamiento y almacenamiento. Este control garantiza la estabilidad del producto, permitiendo su conservación a temperatura ambiente en un ambiente fresco, seco y bien ventilado (Yan et al., 2023).

Además, la inocuidad del producto debe ser validada mediante el análisis microbiológico de la microbiota del insecto, que no solo se encuentra en el intestino, sino que también puede introducirse durante su cría y procesamiento. Se ha detectado la presencia de especies patógenas como *Campylobacter* y *Salmonella* en insectos criados cerca de animales de granja con medidas de bioseguridad insuficientes (FAO, 2021).

Por ello, se realizan pruebas microbiológicas para identificar posibles riesgos. Organismos como la Plataforma Internacional de Insectos para Alimentos y Piensos (IPIFF) y la FAO establecen parámetros recomendados para el moni-

toreo microbiológico, que incluyen un límite máximo de 5×10^5 UFC/g para bacterias aerobias mesófilas, 5×10^2 UFC/g para *Escherichia coli*, y ausencia de *Listeria monocytogenes* y *Salmonella* spp. en 25 gramos de muestra. Otros límites incluyen *Bacillus cereus* (1×10^2 UFC/g), mohos y levaduras (1×10^3 UFC/g), y *Staphylococcus aureus* (1×10^2 UFC/g). Estas pruebas son esenciales para verificar que el producto cumple con los estándares de seguridad (IPIFF, 2024; FAO, 2021).

Asimismo, es fundamental monitorear parámetros químicos, como pesticidas (ej. organofosforados), metales pesados (plomo, cadmio), residuos de limpieza y desinfección, y contaminantes derivados del contacto con materiales sucios. También se deben considerar los peligros físicos, como fragmentos metálicos, vidrio, plástico, y partes del insecto, como patas.

Finalmente, es necesario revisar de manera continua las regulaciones nacionales e internacionales que rigen la producción y comercialización de productos de *T. molitor*, asegurando el cumplimiento legal. La capacitación constante del personal y la validación regular de los procesos son claves para garantizar un producto final de alta calidad y seguridad. El manejo adecuado de los peligros mencionados y de los residuos del procesamiento es esencial para asegurar la inocuidad del producto.

5.5.1. PELIGROS FÍSICOS, QUÍMICOS Y BIOLÓGICOS

Las larvas de *Tenebrio molitor*, al igual que cualquier otro alimento, no están exentos de enfrentar peligros físicos, químicos y biológicos durante su procesamiento, los cuales pueden representar afectaciones para la salud de los consumidores. A continuación, se detallan los aspectos más relevantes de cada uno de estos peligros.

Cuadro VIII. Peligros físicos, químicos y biológicos en larvas de *Tenebrio molitor*.

RIESGO	DESCRIPCIÓN
FÍSICOS	<ul style="list-style-type: none"> • Los insectos deshidratados enteros pueden presentar peligros debido a partes duras como patas, alas y espinas, lo cual debe ser indicado en la etiqueta para prevenir riesgos a la salud (ANSES, 2015).
BIOLÓGICOS	<ul style="list-style-type: none"> • La carga microbiológica de las larvas frescas de <i>Tenebrio molitor</i> no depende del tipo de sustrato utilizado para su desarrollo. Estas larvas poseen una microbiota estable, frecuentemente asociada con: <i>Enterobacteriaceae</i> (<i>Enterobacter spp.</i>, <i>Klebsiella spp.</i>, <i>Erwinia spp.</i> y <i>Pantoea spp.</i>), bacterias del ácido láctico (<i>Enterococcus spp.</i> y <i>Lactococcus spp.</i>), y otras bacterias como <i>Staphylococcus spp.</i>, <i>Bacillus spp.</i>, <i>Pseudomonas spp.</i> y <i>Clostridium spp.</i> (Pöllinger-Zierler et al., 2023; Garofalo et al., 2019).
QUÍMICOS	<ul style="list-style-type: none"> • Los riesgos químicos incluyen la posible presencia de micotoxinas, residuos de plaguicidas, metales pesados y antimicrobianos en los insectos debido a su cría en entornos contaminados. La bioacumulación de contaminantes químicos varía según el tipo de contaminante, la especie de insecto y la etapa de desarrollo. • Bioacumulación de Arsénico: capacidad de acumularlo en su cuerpo larval (Bisconsin-Junior et al., 2023; Meyer et al., 2021). • Bioacumulación de pesticidas: bioacumulación a través de la fuente de agua (Houbraken et al., 2016). • Bioacumulación de Cadmio: bioacumulación en su estructura (Jucker et al., 2020).

Para reducir los riesgos asociados con las larvas destinadas al consumo humano, se recomienda que en términos generales que las empresas implementen medidas adecuadas de higiene en todas las etapas de producción y comercialización. Esto incluye establecer un sistema basado en el análisis de peligros y puntos críticos de control (HACCP) por parte de los operadores involucrados en el procesamiento y comercialización.

5.5.1.2. MANEJO DE RESIDUOS

Como en cualquier otro proceso de elaboración de productos, se generan también residuos. En el caso del procesamiento de *T. molitor*, podemos observar en el siguiente cuadro los principales aspectos a considerar con respecto al manejo de estos residuos.

Cuadro IX. Aprovechamiento y manejo de residuos orgánicos en la producción de *Tenebrio molitor*.

ASPECTO	DESCRIPCIÓN
PROCESAMIENTO DE RESIDUOS ORGÁNICOS	<ul style="list-style-type: none">• El manejo de los residuos orgánicos generados durante la limpieza de las larvas de <i>Tenebrio molitor</i> es fundamental para la sostenibilidad y eficiencia de la producción.• Por cada 1 kg de proteína obtenida, se generan 3 kg de desecho orgánico, que se utiliza como abono orgánico en la agricultura.
QUÍMICOS	<ul style="list-style-type: none">• El principal residuo generado es el frass, que incluye excremento de las larvas y residuos de sustrato. Este posee propiedades valiosas como biofertilizante, con una alta proporción de materia orgánica cercana al 80%, mejorando significativamente las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.• La microbiota presente en las larvas, incluyendo microorganismos beneficiosos como <i>Paenibacillus</i>, <i>Bacillus</i> y <i>Rhizobium</i>, potencia sus efectos positivos en la agricultura (PROTIBERIA, s.f; Poveda, 2021).

Para el manejo adecuado de estos residuos, es fundamental implementar medidas de seguridad, ya que el polvo de la larva puede ocasionar problemas de salud como reacciones alérgicas o asma. Por ello, el personal debe usar mascarillas, ropa y calzado específicos para el procesamiento, evitando así la propagación de contaminantes fuera de la granja y en los hogares. Además, se deben instalar filtros de aire adecuados en la planta de procesamiento, asegurar un excelente manejo del frass para evitar la contaminación cruzada, y mantener un control de temperatura durante el procesamiento (Eilenberg et al., 2021).

6. CONSIDERACIONES FINALES

Este manual está diseñado para guiar a quienes desean establecer una granja para la producción y procesamiento de *Tenebrio molitor*. La cría de estos insectos ofrece una oportunidad valiosa para diversificar la oferta de productos tanto en los mercados nacionales como internacionales. Además, este sector emergente está en constante evolución, creando nuevas posibilidades no solo para la alimentación humana, sino también para la alimentación animal.

La producción de insectos representa una alternativa ecológica a las fuentes tradicionales de proteínas, con un menor impacto ambiental. Asimismo, puede contribuir significativamente a la diversificación económica y al fortalecimiento de las comunidades rurales que buscan desarrollar esta línea de productos.

7. AGRADECIMIENTOS

Expresamos nuestro más profundo agradecimiento al Sr. Roberto Navarro y la Sra. Georgina López de la empresa Zuustento, México, por la valiosa entrevista en la que clarificaron dudas sobre *T. molitor*. Su disposición para colaborar con la academia es sumamente apreciada y ha contribuido significativamente al avance del conocimiento en este campo.

8. GLOSARIO

En esta sección se presenta un glosario de términos clave utilizados en el documento.

- **Alérgenos:** Es una sustancia que puede provocar una reacción alérgica en personas susceptibles y puede estar presente en ciertos alimentos.
- **Calidad:** Es el conjunto de atributos que lo hacen aceptable y satisfactorio para el consumidor. Esto incluye aspectos como la apariencia, la textura, el sabor y el contenido nutricional del producto.
- **Exoesqueleto:** Capa externa del cuerpo de los insectos endurecida que da soporte al cuerpo del animal, compuesta principalmente por quitina.
- **Frass:** Término derivado del idioma inglés para referirse a el acumulado de excretas solidificadas de insectos. Este está compuesto de cientos o miles de masas esféricas u ovaladas excretadas por cada insecto como residuo de su alimentación y tiene una textura polvosa o granulada.
- **Inocuidad:** Es la característica que asegura que los alimentos no causarán daño al consumidor cuando se utilicen o consuman según su propósito y bajo las condiciones de almacenamiento recomendadas.
- **Patógenos:** Se define como cualquier microorganismo (bacterias, hongos, etc) que puede causar enfermedades en los seres humanos cuando se consume el alimento contaminado.
- **Sustrato:** Es el alimento y al mismo tiempo el medio donde viven ciertos organismos, generalmente de consistencia líquida o polvosa.

9. REFERENCIAS

1. Agencia Catalana de Seguridad Alimentaria (ACSA). (2021). Europa autoriza la comercialización del primer insecto como nuevo alimento, el gusano de la harina. <https://acsa.gencat.cat/es/detall/noticia/Europa-autoriza-la-comercializacion-del-primer-insecto-como-nuevo-alimento-el-gusano-de-la-harina>
2. Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición (AESAN). (2024) Situación de los insectos en alimentación humana. https://www.aesan.gob.es/AECOSAN/docs/documentos/seguridad_alimentaria/gestion_riesgos/INSECTOS_ALIMENTACION_.pdf
3. Biscosin-Junior, A., Feitosa, B. F., Silva, F. L., & Mariutti, L. R. B. (2023). Mycotoxins on edible insects: Should we be worried? Food And Chemical Toxicology, 177, 113845. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2023.113845>
4. Bühler Group. (s.f). Insect Protein. Insect Technology Solutions. <https://www.buhlergroup.com/global/en/industries/insect-technology.html>
5. Corredor, S. (2022). Diseño del proceso productivo y construcción de nave de procesado para 45.351 kg/año de insectos comestibles en Jalcomulco, Veracruz (México) [Trabajo fin de grado]. Universidad Politécnica de Madrid. https://oa.upm.es/72050/1/TFG_SERGIO_CORREDOR_BEJAR.pdf
6. Cotton, R. T. (Ed.). (1929). *The Meal Worms*. <https://doi.org/10.22004/ag.econ.156679>
7. CreativeFoods. (s.f). Proteína de *Tenebrio molitor*. <https://expo.thefoodtech.com/wp-content/themes/summit-expo/directorio/assets/fichas/849023e6-3113-4850-8c6a-a6430b803941.pdf>
8. Crippa, M., Solazzo, E., Guizzardi, D., Monforti-Ferrario, F., Tubiello, F. N., & Leip, A. (2021). Food systems are responsible for a third of global anthropogenic GHG emissions. Nature Food, 2(3), 198-209. <https://doi.org/10.1038/s43016-021-00225-9>
9. Da Silva, R. M., Köhler, A., De Cássia de Souza Schneider, R., De Vargas, D. P., Köhler, A. L., Da Costa E Silva, D., & Soares, J. (2024). Proximate and fatty acid profile analysis of *Tenebrio molitor* and *Zophobas morio* using different killing methods. Food Chemistry, 138719. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.138719>
10. Eberle, S., Schaden, L.-M., Tintner, J., Stauffer, C., & Schebeck, M. (2022). Effect of Temperature and Photoperiod on Development, Survival, and Growth Rate of Mealworms, *Tenebrio molitor*. Insects, 13(4), Article 4. <https://doi.org/10.3390/insects13040321>
11. Eilenberg, J., Haenen, O. L. M., van der Fles-Kerl, H. J., Van Campenhout, L., van Oers, M. M., & Schoelitz, B. (2021). Management of pathogens and other unwanted organisms in insect production. In T. Veldkamp, J., Claeys, O. L. M. Haenen, J. J. A. van Loon, & T. Spranghers (Eds.), *The basics of edible insect rearing-handbook for the production chain* (pp. 205-227). Wageningen Academic Publishers.
12. Errico, S., Spagnoletta, A., Verardi, A., Moliterni, S., Dimatteo, S. & Sangiorgio, P. (2021). *Tenebrio molitor* as a source of interesting natural compounds, their recovery processes, biological effects, and safety aspects. Comprehensive reviews in food science and food safety. 10.1111/1541-4337.12863

13. FlyFarm Systems Ltd. (2024). *FlyFarm Systems - insect farming technology & solutions*. FlyFarm Systems. https://flyfarmsystems.com/systems/?gad_source=1&gclid=Cj0KcQ-jw2ou2BhCCARIsANAwM2HUZIUW115uErCal5jC3hGahDGReS6tRP_je2ZvoSg2CQKkomU-j7phAaAg9IEALw_wcB
14. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2021). *Looking at edible insects from a food safety perspective. Challenges and opportunities for the sector*. FAO, 1, 108. <https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/cb4094en>
15. Fraenkel, G. (1950). The Nutrition of the Mealworm, *Tenebrio molitor* L. (Tenebrionidae, Coleoptera). *Physiological Zoology*, 23(2), 92-108.
16. French Agency for Food, Environmental and Occupational Health & Safety (ANSES). (2015). Opinion of the French Agency for Food, Environmental and Occupational Health & Safety on “the use of insects as food and feed and the review of scientific knowledge on the health risks related to the consumption of insects”. <https://www.anses.fr/en/system/files/BIORIS-K2014sa0153EN.pdf>
17. Garofalo, C., Milanović, V., Cardinali, F., Aquilanti, L., Clementi, F., & Osimani, A. (2019). Current knowledge on the microbiota of edible insects intended for human consumption: A state-of-the-art review. *Food Research International*, 125, 108527. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108527>
18. Gerber, G. H. (1975). Reproductive behaviour and physiology of *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae): ii. egg development and oviposition in young females and the effects of mating. *The Canadian Entomologist*, 107(5), 551-559. <https://doi.org/10.4039/Ent107551-5>
19. Houbraken, M., Spranghers, T., De Clercq, P., Cooreman-Algoed, M., Couchement, T., De Clercq, G., Verbeke, S., & Spanoghe, P. (2016). Pesticide contamination of *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae) for human consumption. *Food Chemistry*, 201, 264-269. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.01.097>
20. Insect Nutrition. (2024). Ficha técnica *Tenebrio molitor*. <https://expo.thefoodtech.com/wp-content/themes/summit-expo/directorio/assets/fichas/d5205ec1-1ce0-4f22-8db5-b3ed759c75a3.pdf>
21. Jucker, C., Defilippo, F., Lupi, D., Gigante, P., Savoldelli, S., Ferretti, E., Curatolo, M., Bassi, A., Bonilauri, P. & Dottori, M. (2020). Bioaccumulation of cadmium in *Tenebrio molitor*, *Zophobas morio* and *Hermetia illucens*. *Journal of Insects as Food And Feed*, 6(1), 16. https://air.unimi.it/retrieve/dfa8b9a5-1f22-748b-e053-3a05fe0a3a96/jiff2020.s1_IFW.pdf
22. Kröncke, N., & Benning, R. (2022). Self-Selection of Feeding Substrates by *Tenebrio molitor* Larvae of Different Ages to Determine Optimal Macronutrient Intake and the Influence on Larval Growth and Protein Content. *Insects*, 13(7), 657. <https://doi.org/10.3390/insects13070657>
23. La Rosa, T. G., La Paz, S. M., & Rivero-Pino, F. (2024). Production, characterisation, and biological properties of *Tenebrio molitor*-derived oligopeptides. *Food Chemistry*, 450, 139400. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.139400>
24. Lähteenmäki-Uutelala, A., Hénault-Ethier, L., Marimuthu, S., Talibov, S., Allen, R., Nemane, V., Vandenberg, G., & Józefiak, D. (2018). The impact of the insect regulatory system on the insect marketing system. *Journal Of Insects As Food And Feed*, 4(3), 187-198. <https://doi.org/10.3920/jiff2017.0073>

25. Lange, K. W., & Nakamura, Y. (2021). Edible insects as future food: chances and challenges. *Journal Of Future Foods*, 1(1), 38-46. <https://doi.org/10.1016/j.jfutfo.2021.10.001>
26. Lienhard, A., Rehorska, R., Pöllinger-Zierler, B., Mayer, C., Grasser, M., & Berner, S. (2023). Future Proteins: Sustainable Diets for *Tenebrio molitor* Rearing Composed of Food By-Products. *Foods*, 12(22), 4092. <https://doi.org/10.3390/foods12224092>
27. Machona, O., Mutanga, M., Chidzondo, F., & Mangoyi, R. (2024). Sub-chronic toxicity determination of powdered *Tenebrio molitor* larvae as a novel food source. *Toxicology Reports*, 12, 111-116. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2024.01.002>
28. Maciel-Vergara, G., y Ros, V. I. D. (2017). Viruses of insects reared for food and feed. *Journal of Invertebrate Pathology*, 147, 60-75. <https://doi.org/10.1016/j.jip.2017.01.013>
29. Mancini, S., Fratini, F., Tuccinardi, T., Turchi, B., Nuvoluni, R., & Paci, G. (2019). Effects of different blanching treatments on microbiological profile and quality of the mealworm (*Tenebrio molitor*). *Journal of Insects as Food and Feed*, 5, 225-234. <https://doi.org/10.3920/JIFF2018.0034>
30. Mariod, A., Saeed Mirghani, M., & Hussein, I. (2017). Unconventional Oilseeds and Oil Sources: Chapter 50 - *Tenebrio molitor* Mealworm. Academic Press, 331-336.
31. Medrano, L. (2019). Larvas de gusano de harina (*Tenebrio molitor*) como alternativa proteica en la alimentación animal [Por el título de Zootecnista]. Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD), Bogotá. <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/28001/lcmedranov.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
32. Meyer, A., Meijer, N., Hil, E. H. D., & Van Der Fels-Klerx, H. (2021). Chemical food safety hazards of insects reared for food and feed. *Journal Of Insects As Food And Feed*, 7(5), 823-831. <https://doi.org/10.3920/jiff2020.0085>
33. Morales-Ramos, J. A., Rojas, M. G., Shapiro-Ilan, D. I., & Tedders, W. L. (2010). Developmental Plasticity in *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae): Analysis of Instar Variation in Number and Development Time under Different Diets. *Journal of Entomological Science*, 45(2), 75-90. <https://doi.org/10.18474/0749-8004-45.2.75>
34. Murray, D. R. P. (1968). The Importance of Water in the Normal Growth of Larvae of *Tenebrio molitor*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 11(2), 149-168. <https://doi.org/10.1111/j.1570-7458.1968.tb02041.x>
35. Noyens, I., Miert, S. V., Brombach, c., Rossi, M., Haas, N., Beckman, M., Alvarez, C., Neves, E., Naranjo-Guevara, N., Garrelts, K., Floto-Stammen, S. & Roosen, M. (2021). Packaging, storage and shelf life análisis. Interreg North-West Europe Valusect. https://vb.nweurope.eu/media/17902/literature-review_packaging-storage-and-shelf-life-analysis.pdf
36. Pöllinger-Zierler, B., Lienhard, A., Mayer, C., Berner, S., Rehorska, R., Schöpfer, A., & Grasser, M. (2023). *Tenebrio molitor* (Linnaeus, 1758): Microbiological Screening of Feed for a Safe Food Choice. *Foods*, 12(11), 2139. <https://doi.org/10.3390/foods12112139>
37. Portillo, E. (2017). *Estimación piloto de los costos en la producción y proceso de harina de grillo (Acheta domesticus), como fuente de proteína para dieta humana, en la finca Santa Marta, Morazán, El Salvador* [Por el grado de licenciatura de Administración en Agronegocios]. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano Honduras. <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/d1db6147-d9ca-4b38-b87e-12ba235e8720/content>
38. Poveda, J. (2021). Nuevos abonos a partir de excrementos de insecto: el caso del gusano de la harina (*Tenebrio molitor*). *Revista Ingeniería y Región*, 19. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6973427>

39. Procuraduría General de la República de Costa Rica (PGR). (2008). Reglamento General para el Otorgamiento del Certificado Veterinario de Operación. N° 34859-MAG. https://pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=64426&nValor3=84774&strTipM=TC
40. Promotora de Comercio Exterior de Costa Rica (PROCOMER). (2021). Industria de Insectos con potencial de comercialización ya está habilitada en el país. <https://www.procomer.com/noticia/comprador-internacional-noticia/industria-de-insectos-con-potencial-de-comercializacion-ya-esta-habilitada-en-el-pais/>
41. Protiberia. (s.f). Descubre el secreto de la microbiota del *Tenebrio*: la solución ecológica para proteger tus cultivos y combatir las plagas. <https://protiberia.com/microbiota-del-tenebrio/>
42. Punzo, F., & Mutchmor, J. A. (1980). Effects of Temperature, Relative Humidity and Period of Exposure on the Survival Capacity of *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae). *Journal of the Kansas Entomological Society*, 53(2), 260-270.
43. Ribeiro, J. C., Marques, J. P., Fernandes, T. R., Pintado, M. E., Carvalho, S. M., & Cunha, L. M. (2024). Effect of blanching, storage and drying conditions on the macro-composition, color and safety of mealworm *Tenebrio molitor* larvae. *LWT*, 191, 115646. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.115646>
44. Rumbos, C. I., Karapanagiotidis, I. T., Mente, E., Psoufakis, P., & Athanassiou, C. G. (2020). Evaluation of various commodities for the development of the yellow mealworm, *Tenebrio molitor*. *Scientific Reports*, 10(1), 11224. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-67363-1>
45. Sealing system. (s. f.). *Insect Farming Automation. Fully Automated Logistics & Data tracking solutions*. <https://sealing-system.com>. <https://sealing-system.com/segments/biofactory#:~:text=Innovative%20technology%20and%20intra-logistics%20automation,and%20ground-breaking%20sector%20within%20agriculture.>
46. Servicio Nacional de Salud Animal (SENASA). (2021). N° SENASA-DG-R044-2021. <https://www.sinac.go.cr/ES/visasilves/Enlaces%20Inters/O6.%20N%C2%BA%20SENASA-DG-R044-2021.-Lista%20de%20especies%20ex%C3%B3ticas%20ornamentales.pdf>
47. Solano, T., Quirós, D. & Barboza, D. (2021). Modelo de costos para la producción de insectos comestibles en Costa Rica, 2021: grillo doméstico (*Acheta domestica*) y gusano de harina (*Tenebrio molitor*). Universidad de Costa Rica, Centro de Investigaciones en Economía Agrícola y Desarrollo Agroempresarial (CIEDA). https://cita.ucr.ac.cr/sites/default/files/2024-05/Costos_CIEDA_2021.pdf
48. The Insect Protein Store (2023). Harina de *Tenebrio molitor* [Fotografía]. <https://theinsectproteinstore.com/blog/harina-de-tenebrio-molitor/>
49. Urs, K. C. D., & Hopkins, T. L. (1973). Effect of moisture on growth rate and development of two strains of *Tenebrio molitor* L. (Coleoptera, Tenebrionidae). *Journal of Stored Products Research*, 8(4), 291-297. [https://doi.org/10.1016/0022-474X\(73\)90045-3](https://doi.org/10.1016/0022-474X(73)90045-3)
50. Veldkamp, T. Claeys, J., Haenen, O.L.M., van Loon J.J.A. y Spranghers, T. (2022). *The Basics of Edible Insect Rearing*. Wageningen Academic Publishers, Wageningen, the Netherlands, 278 pp. <https://doi.org/10.3920/978-90-8686-902-2>
51. Yan, X., Laurent, S., Hue, I., Cabon, S., Grua-Priol, J., Jury, V., Federighi, M., & Boué, G. (2023). Quality of *Tenebrio molitor* Powders: Effects of Four Processes on Microbiological Quality and Physicochemical Factors. *Foods*, 12(3), 572. <https://doi.org/10.3390/foods12030572>
52. 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>