

Cría eficiente de *Tenebrio molitor* (Coleoptera Tenebrionidae): protocolo reproducible con dieta vegetal para aplicaciones biotecnológicas y nutricionales

Efficient Rearing of *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae): A Reproducible Protocol Using a Plant-Based Diet for Biotechnological and Nutritional Applications

Laura Ileana Granados-López^a, Ana Karen Torres-Granados^a, Armando Zepeda-Bastida^a, Oscar Aarón Islas-Rodríguez^a, Rodrigo Salomón Hernández-Aco^a, María Fernanda Martínez-Sánchez^{a*}

Abstract:

Tenebrio molitor is a beetle species that has attracted increasing interest in agro-biotechnological sciences due to its high nutritional value and potential applications in human and animal nutrition, as well as in sustainable and environmental technologies. The larvae of *T. molitor*, commonly known as mealworms, contain 47% to 60% protein (dry matter basis) and a complete profile of essential amino acids. Additionally, they exhibit functional properties such as antioxidant, anti-inflammatory, and antimicrobial activity. Remarkably, they can also biodegrade polystyrene, making them a promising resource for environmental biotechnology. This study presents a practical and reproducible protocol for rearing *T. molitor* under controlled conditions using an affordable and accessible plant-based diet of wheat bran and lettuce. Optimal environmental parameters (temperature, humidity) and handling practices are described for each stage of development (egg, larva, pupa, and adult). The findings demonstrate that this strategy enables efficient production with high nutritional quality, adaptable to different production scales. The implementation of this protocol offers a viable alternative for researchers, producers, and entrepreneurs interested in insect farming for biotechnological applications, contributing to sustainable production models, circular economy systems, and food security.

Keywords:

Insect, insect breeding, mealworm, larva, pupa, adult

Resumen:

Tenebrio molitor es una especie de escarabajo que ha despertado creciente interés en las ciencias agropecuarias y biotecnológicas, debido a su alto valor nutricional y a sus aplicaciones potenciales en alimentación humana, animal y procesos sustentables. Las larvas de *T. molitor*, conocidas como gusanos de la harina, poseen un perfil proteico entre 47 % y 60 % en base seca, además de aminoácidos esenciales y propiedades funcionales como actividad antioxidante, antiinflamatoria y antimicrobiana. Su capacidad para biodegradar poliestireno también lo posiciona como una herramienta prometedora en biotecnología ambiental. Este estudio presenta un protocolo práctico y reproducible para la cría de *T. molitor* en condiciones controladas, empleando una dieta económica y accesible basada en salvado de trigo y lechuga. Se detallan las condiciones óptimas de alimentación, temperatura, humedad y manejo para cada estadio del ciclo biológico (huevo, larva, pupa y adulto). Los resultados obtenidos evidencian que esta estrategia permite mantener una producción eficiente y de alta calidad nutricional, adaptable a diferentes escalas. La implementación de este protocolo representa una alternativa viable para investigadores, productores y emprendedores interesados en el cultivo de insectos comestibles con fines biotecnológicos, contribuyendo a modelos de producción sustentable, economía circular y seguridad alimentaria.

Palabras Clave:

Insecto, crianza de insecto, gusano de la harina, larva, pupa, adulto

^a Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Instituto de Ciencias Agropecuarias. Tulancingo de Bravo, Hidalgo, México. Laura Ileana Granados-López <https://orcid.org/0009-0003-5722-4267> ileanalaura201@gmail.com, Ana Karen Torres-Granados <https://orcid.org/0009-0005-9320-126X>, 23togak99@gmail.com, ma382764@uaeh.edu.mx; Armando Zepeda-Bastida <https://orcid.org/0000-0003-0572-5206> azepeda@uaeh.edu.mx, Oscar Aarón Islas-Rodríguez <https://orcid.org/0009-0004-7322-0829>, mvzocarislal@gmail.com, Rodrigo Salomón Hernández-Aco <https://orcid.org/0000-0002-3423-0846>, rodrigo_hernandez10395@uaeh.edu.mx

*Autor de correspondencia: María Fernanda Martínez-Sánchez <https://orcid.org/0009-0000-7222-2110>

1. Introducción

Los insectos comestibles han emergido como una alternativa sustentable y eficiente frente a las limitaciones de los sistemas tradicionales de producción de proteína animal. Entre ellos, *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae), comúnmente conocido como gusano de la harina, destaca por su valor nutricional, eficiencia reproductiva y adaptabilidad a diversos sistemas de cría. Este insecto posee un contenido proteico elevado (entre 47 % y 60 % en base seca), un perfil completo de aminoácidos esenciales, ácidos grasos insaturados, minerales y vitaminas, lo que lo convierte en una excelente fuente de nutrimentos para consumo humano y animal [1-3].

Además de su valor alimentario, *T. molitor* ha demostrado propiedades bioactivas relevantes, como actividad antioxidante, antiinflamatoria, antimicrobiana e incluso anticancerígena, lo que abre la puerta a su aplicación en áreas como la biotecnología alimentaria, la medicina veterinaria y la industria farmacéutica. Otra característica notable es su capacidad para biodegradar poliestireno, gracias a la presencia de microorganismos simbióticos en su sistema digestivo, lo que ha captado el interés de investigadores enfocados en la remediación ambiental y la economía circular [4, 5].

La cría de *T. molitor* también presenta importantes ventajas ecológicas frente a la ganadería convencional: requiere menos recursos hídricos, produce una menor huella de carbono y puede desarrollarse en espacios reducidos. Estas cualidades permiten integrarlo en sistemas agroecológicos, urbanos o de pequeña escala, favoreciendo su adopción en regiones con limitaciones productivas o inseguridad alimentaria [6, 7]. No obstante, para aprovechar plenamente su potencial es indispensable estandarizar los métodos de cría y alimentación, considerando que la calidad del sustrato dietético impacta directamente en el crecimiento, supervivencia y perfil nutricional del insecto. El desarrollo de protocolos reproducibles y de bajo costo constituye un paso fundamental hacia la consolidación de su producción como parte de estrategias sostenibles de bioeconomía.

En este contexto, el presente trabajo tiene como objetivo establecer un protocolo optimizado para la cría de *Tenebrio molitor* en condiciones controladas, utilizando una dieta vegetal compuesta por salvado

de trigo y lechuga. Se describe el manejo técnico en cada etapa del ciclo de vida (huevo, larva, pupa y adulto), así como las condiciones microclimáticas ideales, con base en la experiencia experimental obtenida en el municipio de Tulancingo de Bravo, Hidalgo, México.

Tabla 1. Contenido de proteína y perfiles de aminoácidos esenciales de *Tenebrio molitor* [8, 9]

Etapa	Proteína cruda (% MS)	Aminoácidos esenciales más abundantes (% proteína)
Larva	~52,8 % (rango 47,2-60,3 %)	Val (≈6,0 %), Leu (≈8,6 %), Lys (≈5,4 %), Ile (≈4,6 %)
Pupa/Adulto	Significativamente menores que en larvas	Disminución general de todos los AA esenciales respecto a la larva

2. Crianza

La cría de *Tenebrio molitor* requiere la implementación de condiciones controladas que permitan un desarrollo eficiente de cada una de las etapas del ciclo biológico: huevo, larva, pupa y adulto. Bajo condiciones óptimas, la duración total del ciclo, desde la oviposición hasta la muerte del adulto, puede abarcar entre 8 y 10 meses, dependiendo de factores como temperatura, humedad, densidad de población y calidad de la dieta.

Las larvas emergen entre 10 y 21 días después de la oviposición. Permanecen en esta etapa por un periodo de 10 a 12 semanas, durante el cual atraviesan múltiples mudas. Alcanzada la madurez larval, se transforman en pupas; esta etapa dura aproximadamente 7 a 14 días, dependiendo de las condiciones térmicas. Posteriormente, emergen los adultos, que pueden vivir entre 3 y 6 meses. Los escarabajos adultos alcanzan la madurez sexual pocos días después de emerger, iniciando así un nuevo ciclo reproductivo.

Para este estudio, la cría se llevó a cabo en cajas plásticas de 15 x 14 x 9 cm, con ventilación adecuada, a una densidad aproximada de 100 a 200 individuos por caja, dependiendo del estadio. Se utilizó como sustrato alimenticio salvado de trigo, complementado con hojas frescas de lechuga para hidratación. La dieta se repuso cada tercer día, y se realizaron limpiezas semanales para prevenir la proliferación de hongos y evitar la acumulación de

excretas y exuvias. La separación de individuos por etapa fue indispensable para prevenir el canibalismo, común en esta especie.

4. Microclima

Aunque *Tenebrio molitor* presenta una alta tolerancia a variaciones ambientales, establecer un microclima controlado mejora significativamente la

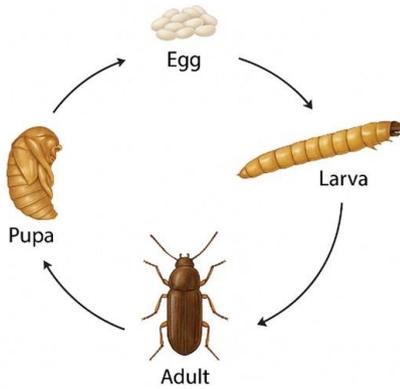


Figura 1. Ciclo de vida del *Tenebrio molitor* [8].

Tabla 2. Requerimientos alimentarios básicos por etapa de desarrollo de *T. molitor*

Etapa	Duración aproximada	Alimento principal	Fuente de hidratación	Frecuencia de alimentación	Requerimiento calórico estimado	Observaciones
Huevo	10–21 días	No requiere	No requiere	N/A	N/A	Se desarrollan en el sustrato; no se manipulan.
Larva	10–12 semanas	Salvado de trigo (10–15 g)	Lechuga fresca (<i>Lactuca sativa</i>) (1–2 hojas)	Cada 2–3 días	35–45 kcal/día/caja	Etapa de mayor consumo energético. Separar por tamaño para evitar competencia.
Pupa	7–14 días	No requiere	No requiere	N/A	<5 kcal/día/caja (reserva larval)	No se alimentan activamente. Necesidades cubiertas por reservas internas.
Adulto	3–6 meses	Salvado de trigo (10–12 g)	Lechuga fresca (<i>Lactuca sativa</i>) (1–2 hojas)	Cada 3 días	25–30 kcal/día/caja	Iniciar monitoreo de oviposición. Separar adultos jóvenes y maduros para evitar canibalismo.

3. Alimentación

La fuente principal de alimentación para los 3 estadios de vida fue el salvado de trigo; el salvado de trigo proviene de los residuos de las cáscaras de las semillas de trigo que quedan del procesamiento del grano después de tamizar la harina, cuanto mayor fue la calidad del alimento administrado a los insectos, se obtuvo una mejor calidad nutricional. Se observó que la dieta con mejor relación calidad/precio fue la de salvado de trigo y lechuga (como fuente de agua). La calidad del tipo de dieta utilizada en la producción siempre será factor determinante para el valor nutricional que contenga la larva, pupa y adulto de *Tenebrio molitor* [10].

eficiencia en la crianza y la calidad del producto final. Se determinó que una temperatura ambiental constante entre 23 °C y 26 °C es óptima para los tres estadios de vida (larva, pupa y adulto), favoreciendo tanto el desarrollo como la tasa de reproducción del insecto. Esta temperatura permite una metamorfosis eficiente sin alterar el ritmo biológico natural del insecto. La humedad relativa ideal se encuentra en un rango moderadamente bajo (40 %–60 %), lo que reduce la proliferación de mohos y patógenos sin comprometer la hidratación del insecto. Un ambiente excesivamente húmedo puede provocar descomposición del sustrato y aparición de enfermedades fúngicas, mientras que una humedad muy baja puede reducir la eficiencia del desarrollo larval. Es recomendable mantener las cajas de cultivo en un entorno bien ventilado,

protegido de corrientes de aire directo y con iluminación tenue, ya que los escarabajos prefieren ambientes oscuros. Además, las fuentes de agua no deben ser líquidas sino vegetales frescas, como la lechuga, para evitar ahogamientos o saturación del sustrato.

5. Cuidados en cada estadio de vida

Se realizó el cultivo de *Tenebrio molitor* de cada estadio de vida, con algunas modificaciones y/o adaptaciones, en cajas de plástico de 15 cm de ancho por 14 cm de largo y 9 cm de alto [11-13]. El manejo individualizado de cada estadio de vida es clave para evitar canibalismo, optimizar el desarrollo y maximizar la producción. A continuación, se detallan los cuidados específicos:

5.1 Huevo

Cada escarabajo hembra pone en promedio hasta 500 huevos durante su vida; comienza su ciclo de reproducción unas dos semanas después de emerger de la pupa. Los huevos son de color blanco y son más pequeños que un grano de arena; tardarán entre 2 y 3 semanas en salir del cascarón. Para el cultivo, usualmente los huevos no se separaron debido a que por su tamaño no es fácil detectarlos, por tal motivo, comienzan su ciclo de desarrollo junto con la etapa de larva.

5.2 Larvas

Las larvas, una vez eclosionadas, son muy pequeñas, de unos 3 mm de largo y tienen una coloración que tiende al naranja claro; tardan entre 10 y 12 semanas en alcanzar el tamaño adecuado. Con el tiempo, la larva cambia de color, adquiriendo un tono marrón claro cuando es grande. Cuanto más grande es una larva, más necesita nutrición e hidratación, ya que se está preparando para convertirse en pupa. Para su cultivo, una vez que las larvas han crecido (1 cm a 1.5 cm), se separaron en cajas nuevas para continuar con su proceso de desarrollo, colocando 200 larvas por caja. Cada semana se realizó la limpieza de las cajas, verificamos que no hubiera crecimiento de moho. Cuando la larva creció a un tono marrón, se separó a cajas nuevas para continuar con el cultivo de pupas (Figura 2).

5.3 Pupas

La pupa es el estadio intermedio entre la larva y el adulto, durante esta etapa, el insecto no necesita de mucho alimento. La transición de pupa a adulto

tardará aproximadamente 1 semana, pero este tiempo se puede reducir considerablemente en condiciones de calor extremo (35 a 40°C). Para su cultivo, cuando aparecieron las primeras pupas entre las larvas, se separaron en cajas nuevas; durante esta etapa no se realizaron muchos cuidados, solo se retiraron animales muertos y se separaron a cajas nuevas los adultos que comenzaron a aparecer (Figura 3).



Figura 2. Cultivo de larva de *Tenebrio molitor*, alimentada con sémola de trigo y lechuga.



Figura 3. Cultivo de pupas de *Tenebrio molitor* obtenidas a partir del cultivo de larvas.

5.4 Adultos

Una vez que emergen de la pupa, los adultos desarrollan una armadura negra brillante. En promedio, los adultos pueden vivir de 3 a 6 meses, dependiendo del clima. En promedio, se necesitan de 3 a 4 meses para completar el ciclo de metamorfosis; el insecto puede vivir hasta 10 meses, la mitad de estos como adulto. Es muy importante separar las distintas etapas del insecto para evitar formas de canibalismo; de hecho, las larvas grandes pueden comer huevos y larvas más pequeñas; los adultos pueden comer tanto larvas como huevos. Para su cultivo, en esta última etapa, se separaron los adultos recién formados (color blanco) de los adultos maduros (color negro brillante). Los adultos recién formados se retiraron de las cajas de las pupas y se colocaron en una caja nueva, una vez que llegaron a la etapa madura (aproximadamente 3 días), se colocaron aproximadamente entre 100 y

150 individuos por caja, completando así su ciclo reproductivo (Figura 4). Cabe mencionar que estas cajas fueron monitoreadas cada 3 días para observar la presencia de huevos o larvas y reiniciar con el proceso.



Figura 4. Cultivo de adulto de *Tenebrio molitor*, alimentado con sémola de trigo y lechuga.



Figura 5. Alimentación de los 3 estadios de vida de *Tenebrio molitor* con salvado de trigo y lechuga.

6. Recomendaciones

La crianza exitosa de *Tenebrio molitor* depende no solo de condiciones óptimas de alimentación y microclima, sino también de una serie de buenas prácticas que aseguren la continuidad del ciclo reproductivo, la calidad del producto y la sostenibilidad del sistema. Con base en los resultados obtenidos, se proponen las siguientes recomendaciones para mejorar y escalar el cultivo:

6.1. Limpieza y mantenimiento del sistema de cultivo

- **Limpieza periódica:** Es fundamental realizar una limpieza profunda de las cajas al menos una vez por semana para eliminar residuos fecales, restos de muda, material orgánico descompuesto y organismos muertos. Esto previene infecciones, malos olores y la proliferación de hongos o ácaros.

- **Rotación de contenedores:** Implementar un sistema rotativo de cajas por estadio de vida permite mantener condiciones higiénicas y facilita la separación de estadios, lo cual reduce el canibalismo.
- **Desinfección preventiva:** Cada cierto número de ciclos (por ejemplo, cada dos meses), se recomienda lavar las cajas con una solución desinfectante suave (como agua con vinagre o peróxido diluido) para evitar la acumulación de agentes patógenos.

6.2. Alimentación y manejo nutricional

- **Frecuencia de alimentación:** Se debe alimentar mínimo cada tercer día, verificando que haya disponibilidad constante de salvado de trigo y lechuga fresca. La lechuga no solo provee agua, sino que también estimula la actividad y el crecimiento de las larvas.
- **Control del sustrato:** Mantener una capa constante y homogénea de salvado de trigo en cada caja. Debe renovarse parcialmente cada semana o cuando haya acumulación de residuos orgánicos o señales de fermentación.
- **Evitar exceso de humedad:** no introducir vegetales en exceso, ya que pueden incrementar la humedad del sustrato y favorecer el desarrollo de moho.

6.3. Control del microambiente

- **Condiciones ambientales estables:** Asegurar que el área de cultivo se mantenga a una temperatura constante de 23 °C a 26 °C y una humedad relativa de 40 % a 60 %, con buena ventilación y baja exposición a la luz directa.
- **Monitoreo ambiental:** Utilizar termohigrómetros digitales simples para controlar temperatura y humedad; esto facilita ajustar el entorno ante cambios estacionales.

6.4. Separación por estadios y control de densidad

- Separación sistemática: Es indispensable separar huevos, larvas, pupas y adultos para evitar el canibalismo. Las larvas grandes pueden comerse a las pequeñas o a los huevos, mientras que los adultos también pueden consumir estados inmaduros.
- Control de población: Mantener densidades óptimas por caja: 200 larvas, 50–70 pupas y 100–150 adultos, según el tamaño del contenedor. El exceso de individuos puede afectar el crecimiento, aumentar la competencia por alimento y reducir la tasa reproductiva.

6.5. Registro y trazabilidad del cultivo

- Llevar un registro de producción: Documentar semanalmente el número de individuos por estadio, la cantidad de alimento suministrado, el porcentaje de mortalidad y el tiempo de desarrollo. Esto facilita la toma de decisiones, la planeación de cosechas y la identificación de problemas recurrentes.
- Etiquetado de cajas: Marcar cada caja con fecha de inicio, número de individuos y estadio de vida para tener un control visual simple y efectivo.

6.6. Escalamiento y diversificación

- Optimización del espacio: A medida que se incrementa la producción, es posible implementar sistemas verticales con estanterías modulares para alojar múltiples cajas sin requerir grandes superficies.
- Diversificación del uso: Las larvas pueden ser destinadas a la producción de harina proteica, alimento vivo, productos cosméticos o bioconversión de residuos. Es recomendable investigar y seleccionar mercados potenciales según la región.
- Capacitación continua: Capacitar al personal o responsables del cultivo en temas como manejo de plagas, bioseguridad, higiene y optimización de recursos permitirá mejorar la eficiencia del sistema.

La limpieza constante de las cajas de cada estadio es indispensable para continuar con el ciclo de reproducción y reducir el porcentaje de mortalidad; respecto a la alimentación, esta se debe realizar mínimo cada tercer día, proporcionándoles cantidades considerables de lechuga, se debe considerar conservar la cantidad de salvado de trigo por cada caja al mismo nivel y rellenar cada que se considere necesario, adultos (1.5 a 2 cm aproximadamente), larvas (1 a 1.5 cm aproximadamente); mantener limpia el área de cultivo y cada que se realice limpieza de las camas; llevar un registro y conteo de cada uno de los estadios y realizar reposición de individuos muertos en cada caja. (Figura 5).

7. Conclusiones

El *Tenebrio molitor* representa una alternativa biotecnológica y nutricional de gran valor para enfrentar los desafíos actuales en materia de sostenibilidad alimentaria, economía circular y aprovechamiento de residuos agroindustriales. Su alto contenido proteico, bajo requerimiento de recursos para su cría y capacidad de adaptación a condiciones controladas hacen de este insecto una opción viable tanto para pequeños productores como para sistemas de producción a escala industrial.

La implementación de un protocolo optimizado de cría, como el desarrollado en este estudio, basado en el uso de cajas plásticas con dimensiones estandarizadas y una dieta compuesta por salvado de trigo y lechuga, permitió obtener buenos niveles de productividad, simplificar el manejo en cada etapa de desarrollo (huevo, larva, pupa y adulto) y garantizar la viabilidad del cultivo de manera continua. Asimismo, el control de parámetros ambientales como la temperatura y la humedad resultó crucial para asegurar el éxito del ciclo reproductivo y minimizar las tasas de mortalidad.

La metodología aplicada demuestra que, con cuidados básicos pero sistemáticos —como la limpieza periódica, la separación por estadios, el control de densidad poblacional y una alimentación constante— es posible obtener un sistema de producción eficiente, reproducible y adaptable a diversas condiciones regionales. Este protocolo constituye una base sólida para proyectos de investigación aplicada, iniciativas de emprendimiento y propuestas de producción sustentable que promuevan la diversificación alimentaria y el desarrollo rural.

En conjunto, los resultados aquí obtenidos consolidan al *Tenebrio molitor* como un recurso con alto potencial estratégico en áreas como la seguridad alimentaria, la nutrición alternativa, la

valorización de residuos y el desarrollo de productos con valor agregado en el sector agropecuario y biotecnológico.

Agradecimientos

A los integrantes del Cuerpo Académico de Biotecnología Veterinaria del Instituto de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.

Conflicto de intereses

No existe conflictos de intereses

Referencias

1. Nájjar, P.D.X.L.P., *PROSPECCIÓN DE LOS INSECTOS COMESTIBLES COMO FUENTE DE PROTEÍNA ANIMAL PARA EL CONSUMO HUMANO*. 2021, UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA.
2. Moreno, F.L.V., et al., *Uso de insectos como alternativa en la nutrición avícola: revisión*. Research, Society and Development, 2021. **10**(3): p. e25810313274-e25810313274.
3. Hong, J., T. Han, and Y.Y. Kim, *Mealworm (Tenebrio molitor Larvae) as an alternative protein source for monogastric animal: A review*. Animals, 2020. **10**(11): p. 2068.
4. González Puente, N., *Desarrollo y optimización de una metodología de extracción de larvas de Tenebrio molitor para la obtención de extractos con péptidos de interés biológico*. 2022.
5. Cardozo Sánchez, M.L., *Biodegradación del poliestireno expandido por larvas de Tenebrio molitor I.(Coleóptera: Tenebrionidae), en condiciones de laboratorio*. 2020.
6. Van Huis, A., *Potential of insects as food and feed in assuring food security*. Annual review of entomology, 2013. **58**(1): p. 563-583.
7. Moruzzo, R., S. Mancini, and A. Guidi, *Edible insects and sustainable development goals*. Insects, 2021. **12**(6): p. 557.
8. Melgoza, J.A.R., *Evaluación de dietas artificiales para la cría de Tenebrio molitor (COLEOPTERA: TENEBRIONIDAE) bajo condiciones controladas para elaboración de harina rica en proteína*. 2023.
9. Medrano Vega, L.C., *Larvas de gusano de harina (Tenebrio molitor) como alternativa proteica en la alimentación animal*. 2019.
10. Asmat, M.E.R., et al., *Diseño de planta de producción de harina de larva de escarabajo (Tenebrio molitor) en la región Piura*.
11. Kopecká, A., et al., *Effect of temperature on the nutritional quality and growth parameters of yellow mealworm (Tenebrio molitor L.): A preliminary study*. Applied Sciences, 2024. **14**(6): p. 2610.
12. Ribeiro, N., M. Abelho, and R. Costa, *A review of the scientific literature for optimal conditions for mass rearing Tenebrio molitor (Coleoptera: Tenebrionidae)*. Journal of Entomological Science, 2018. **53**(4): p. 434-454.
13. Deruytter, D. and C. Coudron, *The effects of density on the growth, survival and feed conversion of Tenebrio molitor larvae*. Journal of Insects as Food and Feed, 2022. **8**(2): p. 141-146.