

## *Tenebrio molitor* como fuente alternativa de proteína: producción, uso en alimentación animal y potencial bioactivo

### *Tenebrio molitor* as an alternative protein source: production, use in animal feed, and bioactive potential

Paola Jocelyn Zuppa-Lara<sup>a</sup>, Jafet Abisai Molina-Gárnica<sup>a</sup>, Luis Ángel Rodríguez-Barragán<sup>a</sup>, Armando Zepeda-Bastida<sup>a</sup>, Rodrigo Salomón Hernández-Aco<sup>a</sup>, Eunice Jael Santos-Mejía<sup>a\*</sup>

#### Abstract:

The mealworm, *Tenebrio molitor*, has traditionally been considered a pest of the flour industry; however, in recent years, it has gained interest as an alternative protein source with biotechnological potential. The objective of this study was to review aspects of its production, nutritional value, applications in animal feed, and possible bioactive properties. Several studies have demonstrated that *Tenebrio molitor* exhibits high feed conversion efficiency and a nutritional profile suitable for inclusion in livestock diets, without significant adverse effects on productive performance in different species. Compounds with antimicrobial, antioxidant, and anti-inflammatory activity have also been identified; however, the available evidence is still preliminary and requires further validation. Despite its potential, limitations exist related to consumer acceptance, regulation, and the standardization of production systems. Overall, *Tenebrio molitor* represents a promising alternative within sustainable agri-food systems.

#### Keywords:

Edible insects, protein alternatives, animal feed, sustainability, bioactivity

#### Resumen:

El coleóptero *Tenebrio molitor*, conocido como gusano de la harina, ha sido tradicionalmente considerado una plaga de la industria harinera; sin embargo, en los últimos años ha cobrado interés como una fuente alternativa de proteína con potencial biotecnológico; el objetivo del presente estudio fue revisar aspectos relacionados con su producción, valor nutricional, aplicaciones en alimentación animal y sus posibles propiedades bioactivas. Diversos estudios han demostrado que *Tenebrio molitor* presenta una alta eficiencia de conversión alimenticia y un perfil nutricional adecuado para su inclusión en dietas pecuarias, sin efectos adversos significativos sobre el desempeño productivo en diferentes especies; así mismo, se han identificado compuestos con actividad antimicrobiana, antioxidante y antiinflamatoria; no obstante, la evidencia disponible es aún preliminar y requiere mayor validación. A pesar de su potencial, existen limitaciones relacionadas con la aceptación del consumidor, la regulación y la estandarización de sistemas de producción; en conjunto, el *Tenebrio molitor* representa una alternativa prometedora dentro de los sistemas agroalimentarios sostenibles.

#### Palabras Clave:

Insectos comestibles, alternativas proteicas, alimentación animal, sostenibilidad, bioactividad

### 1. Introducción

En la actualidad los insectos se han vuelto de bastante interés para nuestra sociedad, debido a su eficiencia en la conversión alimenticia de animales, la conversión en biomasa (definidas como la cantidad de alimento requerida para generar un incremento de 1 kg en peso corporal) variando según la especie animal y los sistemas

de producción empleados; sin embargo, en el caso de los insectos, estos organismos exhiben una eficiencia notablemente alta en la conversión de alimento en biomasa, hablando de manera general, los insectos poseen la capacidad de convertir 2 kg de alimento en 1 kg de masa, mientras que el ganado requiere alrededor de 8 kg de alimento para producir 1 kg de su masa corporal.

<sup>a</sup>Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo; <https://orcid.org/0009-0003-7375-1382>, [paolazuppa9@gmail.com](mailto:paolazuppa9@gmail.com);

[abisaimg99@gmail.com](mailto:abisaimg99@gmail.com), <https://orcid.org/0009-0002-3445-7685>, [jahangel21@gmail.com](mailto:jahangel21@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0003-0572-5206>

[azepeda@uaeh.edu.mx](mailto:azepeda@uaeh.edu.mx), <https://orcid.org/0000-0002-3423-0846>, [rodrigo\\_hernandez10395@uaeh.edu.mx](mailto:rodrigo_hernandez10395@uaeh.edu.mx)

<sup>a\*</sup><https://orcid.org/0009-0000-9905-2203>, [sa284470@uaeh.edu.mx](mailto:sa284470@uaeh.edu.mx)

Fecha de recepción: 03/07/2025, Fecha de aceptación: 03/04/2026, Fecha de publicación: 05/07/2026

Diversas especies de insectos poseen la capacidad de alimentarse de residuos orgánicos, tales como estiércol y desechos alimentarios, transformando estos sustratos de bajo valor en nutrientes de alta calidad, la mayoría de estos insectos presentan un perfil de ácidos grasos comparable al de los productos pesqueros y además son una fuente significativa de fibra dietética y micronutrientes esenciales [1]. Asimismo, algunas especies de insectos han sido utilizadas experimentalmente para evaluar su interacción con fitopatógenos, así como en estudios orientados a su aplicación como agentes macro degradadores de ciertos polímeros sintéticos obteniendo un éxito rotundo en cuanto a la degradación de poliestireno, ya que lo consumen sin preferencia alguna entre los diversos alimentos que se les puedan brindar [2]. En vista de los problemas sanitarios y medioambientales asociados a la masiva y descontrolada utilización de compuestos químicos en la agricultura y medicina se vuelve una necesidad buscar nuevas alternativas biotecnológicas, dentro de los compuestos naturales que puedan ofrecernos los mismos o incluso mejores resultados disminuyendo o incluso erradicando los problemas anteriormente mencionados. Algunas de estas alternativas nos llevan al uso biotecnológico del *Tenebrio molitor* como una fuente de nutrientes, tanto para animales y humanos, así como para plantas, ya que además de tener un excelente perfil nutricional, poseen la capacidad de acumular grandes cantidades de nitrógeno en sus excretas lo cual lo convierte en un excelente abono [3].

El *Tenebrio molitor* comúnmente llamado gusano de la harina es un coleóptero (escarabajo) perteneciente a la familia Tenebrionidae, la cual es una de las más grandes del género Coleoptera; fue descrito por Linnaeus en 1758 y se distingue morfológicamente de otras especies del mismo género por su tamaño, que oscila entre 22.9 y 30.1 mm en estado larval, y entre 11.7 y 16.9 mm en adultos. Los adultos pueden ser reconocidos con facilidad mediante la presencia de punciones bien definidas en el clípeo, la región frontal y el pronoto, además de presentar élitros notablemente más paralelos en comparación con especies afines [4].

Con un perfil nutricional bastante bueno, el *Tenebrio molitor* es considerado como un alimento de excelente calidad para brindar proteína cruda de alta digestibilidad en engorda de animales [5].





Por todo lo anterior, el objetivo del presente estudio fue evaluar el estado actual del arte sobre *Tenebrio molitor* como recurso biotecnológico, integrando evidencia sobre su eficiencia productiva, uso en alimentación animal, propiedades bioactivas, así como sus limitaciones y perspectivas de investigación.

## 2. Crianza y mantenimiento de *Tenebrio molitor*

### Ciclo de vida

El *Tenebrio molitor* tiene varias etapas en su ciclo de vida, inicia como huevo, posteriormente larva, hasta lograr un tamaño óptimo para convertirse en pupa y finalmente dar lugar a un escarabajo adulto. Dado que el *Tenebrio molitor* presenta diferentes estadios en su vida, es importante realizar un adecuado manejo de estas etapas para maximizar su desarrollo y reproducción y así reducir pérdidas en su producción por un inadecuado manejo reproductivo, cada una de estas etapas está comprendida en un lapso determinado (Tabla 1) [6, 7].

**Tabla 1.** Ciclo de vida de *Tenebrio molitor* y duración aproximada de sus etapas bajo condiciones controladas [6, 7].

Etapa	Duración aproximada	Características principales	Imagen
Huevo	7–10 días	Forma alargada	
Larva	8–12 semanas	Etapas de crecimiento activo; alta demanda nutricional	
Pre-pupa	1–3 días	Coloración pálida; cese de alimentación	
Pupa	10–20 días	Inmóvil; transformación a estado adulto	
Adulto	8–12 semanas	Reproducción activa; oviposición	
Ciclo total	4–5 meses	Dependiente de temperatura, humedad y dieta	

### Manejo reproductivo

Usualmente dentro de las Unidades de Producción se utilizan bandejas, charolas o cajones para su

contención, las cuales están compuestas de diferentes materiales: cristal, madera, polietileno de alta densidad o fibra de vidrio; normalmente no existe ningún problema con respecto al material del que están fabricados, además de los contenedores se pueden usar racks o estantes, los cuales permiten un mejor control de parámetros y un mejor manejo del espacio; aunque este sistema no es muy efectivo, ya que facilita la proliferación de hongos y una mayor carga parasitaria interna, además de la presencia de exoparásitos como los ácaros; para evitar esto, en los sistemas de producción más especializados se usan fondos de tamiz de 0.5 mm para larva y de 0.85 mm para adultos en las charolas, seguido de otra charola normal por debajo, para de este modo separar el excremento de los huevos, las larvas y los adultos (Tabla 2) [8].

**Tabla 2.** Manejo reproductivo por etapas [8].

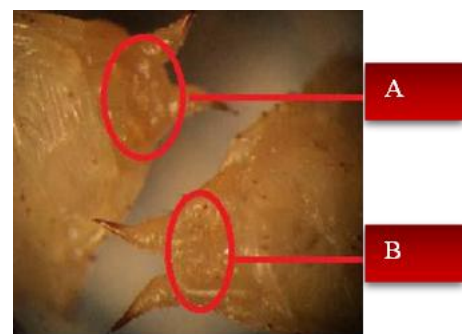
Etapa	Tamiz	Manejo
Huevo	-	Se mantiene en la charola debajo del tamiz de los padres hasta la eclosión.
Larva	0.5 mm	Su charola será limpiada cada semana con la finalidad de darle un manejo adecuado a su excremento.
Pupa	-	No necesitan ningún manejo en especial ya que en esta situación permanecen completamente inmóviles.
Adulto	0.85 mm	Primera recogida de la charola debajo del tamiz a los 20 días posteriores de tener nuestros primeros escarabajos y en adelante sería tamizar esa charola cada 10 días para obtener las larvas ya eclosionadas.

### Sexado

Dentro del manejo reproductivo se realiza el sexado de los ejemplares, lo cual es muy útil para poder determinar la proporción de hembras que tenemos

con respecto a los machos, lo más recomendable es tener una relación lo más cercana 1:1, para evitar desplazamiento entre machos y cópulas no efectivas o en el caso de una menor proporción de machos, evitar un mayor desgaste y de este modo propiciar que los machos se dediquen a cuidar 1-3

hembras con cópulas efectivas [9]. La determinación del sexo en la etapa de pupa, se basa principalmente en la observación del desarrollo de las estructuras genitales, localizadas en la región ventral, justo por detrás del esternito, en las hembras, esta zona presenta una inflamación más pronunciada que se bifurca en dos papilas con apariencia similar a pezones, mientras que en los machos la protuberancia es de menor tamaño y las papilas son poco prominentes o no presentan divergencia notable las papilas del macho son tan discretas que fácilmente pueden perderse de vista. Ya en práctica el sexado de pupas, se determina directamente por la ausencia o presencia de las grandes papilas que en la hembra son bastante notables (Figura 1) [10].



**Figura 1.** Diferencias morfológicas en pupas de *Tenebrio molitor*. A) hembra; B) macho. Imagen adaptada de Sarmiento (2018).

En la etapa adulta, se diferencia su dimorfismo sexual, este se identifica con base en el ángulo ventral en el ápice de la tibia anterior, en los machos está extendido y las hembras es redondeado; además que la tibia anterior de los machos es más curva que la tibia anterior en las hembras y el fémur en las hembras denota un mayor número de punciones (Figura 2) [4]



**Figura 2.** Diferencias morfológicas del dimorfismo sexual en adultos de *Tenebrio molitor*: comparación de la tibia anterior entre machos (A) y hembras (B). Imagen adaptada de Pérez y Pineda 2020.

También en la etapa adulta, se puede identificar mediante la inspección de la región ventral posterior del abdomen; en las hembras, los esternitos posteriores (tercero, cuarto y quinto) se encuentran estrechamente unidos, con escasa separación entre ellos, mientras que en los machos, se presentan membranas intersegmentales claramente visibles, acompañadas de una coloración más clara en dichas zonas, además, el quinto esternito visible es bastante redondo en el macho y ligeramente puntiagudo en la hembra (Figura 3) [10]



**Figura 3.** Identificación del sexo en adultos de *Tenebrio molitor* mediante observación ventral del abdomen. A) macho; B) hembra. Imagen adaptada de Sarmiento (2018).

Cuando se presentan condiciones ambientales adecuadas, las hembras pueden llegar a ovopositar entre 300-600 huevos a lo largo de su vida, lo cual nos indica que para mantener una buena producción es necesario darles un ambiente propicio para un óptimo desarrollo de su ciclo de vida [3].

#### Condición ambiental

Los parámetros que se deben considerar dentro del criadero para mantener adecuadamente al *Tenebrio molitor* y obtener una elevada producción larvaria, es una temperatura media de 28°C, un porcentaje de entre el 70-80% de humedad y una adecuada ventilación, también podemos incluir radiación de luz visible (Tabla 3); el uso de luz visible favorece el contenido de antocianinas y

vitamina D3 [11, 12].

**Tabla 3.** Parámetros óptimos para la reproducción de *Tenebrio molitor* [11, 12].

Parámetro	Rango
Temperatura (°C)	20-30
Humedad (porcentaje)	70-80
Iluminación (UV)	12 h luz y 12 h oscuridad

Los sustratos que se pueden utilizar para el cultivo de este coleóptero son avena, salvado de trigo, alpiste o alguna mezcla de otros granos, aunque el sustrato de elección principalmente será avena o salvado de trigo en un espesor de aproximadamente 5 cm, las larvas comerán de este sustrato, pero no será su única fuente de alimentación ya que no aporta los nutrientes suficientes, por ello debemos implementar un plan de alimentación adecuado que proporcione macronutrientes, micronutrientes y agua que cubra adecuadamente sus necesidades [13].

### 3. Alimentación

La alimentación del coleóptero puede ser muy diversa, una dieta con salvado de trigo y trozos de papa brinda un mayor porcentaje de proteína y minerales en su composición nutricional; por otro lado una mayor inclusión de harina de maíz brinda un mayor contenido de proteína y antocianinas. La dieta con mejor relación calidad/precio sin duda alguna sería la de salvado de trigo y papa, aunque bien podríamos implementar el uso de un porcentaje de maíz morado para incrementar el porcentaje de antocianinas y así brindarle un plus al *Tenebrio molitor* como alimento de calidad. La calidad del tipo de dieta utilizada en la producción siempre será factor determinante para el valor nutricional que contengan los tenebrios; además de la posibilidad

de brindarle un plus como alimento funcional gracias a la inclusión de ingredientes altos en antocianinas [14].

### 4. Usos de *Tenebrio molitor*

#### Implementación en la dieta animal

El incremento constante en la población mundial ha generado un aumento en la demanda de los alimentos proteicos de origen animal, generando una alta presión sobre la producción animal,

aumentando el impacto al medio ambiente y a nuestros recursos naturales, afectando gravemente la biodiversidad y el cambio climático. Por esto se requiere la implementación de nuevas estrategias en la producción de alimentos como el uso de sistemas productivos sustentables y alimentos que requieren un menor recurso para su producción [15]. La entomofagia se ve como una estrategia sumamente viable y la producción de insectos podría ser realmente una solución a futuro para humanos y animales; no obstante, aun con todos los beneficios ecológicos y nutricionales de la implementación de insectos como alimento existen aspectos que van en contra de esto, como es el rechazo por parte de los países occidentales, razones culturales, transmisión de enfermedades, temas de legislación y el hecho de saber si realmente se puede lograr una producción a gran escala para satisfacer la alta demanda [16].

Dentro de la industria avícola es un gran reto la producción de alimentos balanceados que cumplan con los requerimientos necesarios por las aves para llegar a unos índices de crecimiento adecuado. La harina de soya y de pescado son implementadas en su dieta para lograr un óptimo porcentaje proteico y buen contenido de aminoácidos, a pesar de esto, los ingredientes tienen un costo bastante elevado por lo que se vuelve necesario realizar la búsqueda de alternativas proteicas para poder aminorar los costos. En contraste con algunas otras especies animales, en su hábitat natural las aves consumen una gran cantidad de insectos, lo cual nos sugiere que implementar insectos en su dieta podría ser una alternativa conveniente para su uso en aves [17]. El *Tenebrio molitor* es una fuente potencial de proteína ya que cuentan con un perfil de

aminoácidos de excelente calidad; sin embargo, el bajo contenido de metionina del insecto es un factor limitante además de su bajo contenido en calcio por lo cual se debería suplementar este aminoácido y mineral en las dietas de las aves. En la actualidad algunos estudios han demostrado que la implementación de calcio en el alimento de los insectos logra aumentar el contenido de este mineral, obteniendo excelentes resultados [18]. En un estudio la sustitución parcial de harina de soya por harina de *Tenebrio molitor* no mostró efectos adversos sobre la ganancia de peso, la conversión alimenticia ni el

consumo de alimento en los organismos evaluados, también la relación albúmina/globulina fue menor y mencionan que esto pudo ser debido a una mejora en el sistema inmune por la quitina del insecto ya que podría actuar como prebiótico [19]. Por el contrario, se ha reportado una mejora en la conversión alimenticia, ingesta, ganancia de peso, mayor rendimiento en canal y peso al sacrificio cuando se incluyó la harina de *Tenebrio molitor* en porcentajes de 1-10% por ración [20]. Por otro lado, Bovera y colaboradores [21] encontraron que reemplazar totalmente la harina de soya en la dieta de machos de 30 días de nacidos por harina de *Tenebrio molitor*, no tuvo ningún efecto en la tasa de crecimiento de los animales, ni tampoco sobre las características de rendimiento en canal y la composición química de la carne tampoco se modificó de manera significativa. Opuesto a estos resultados Biasato y colaboradores [22] encontraron que la inclusión del 2% de harina de *Tenebrio molitor* aumento el contenido de humedad en el muslo y la proteína en la región de la pechuga en pollos de engorda, además, el porcentaje de grasa también aumento.

Respecto a la acuicultura, la cual ha ido en un constante crecimiento gracias a la alta demanda de proteína de pescado a nivel mundial, por lo cual, la harina y el aceite de pescado se han vuelto imprescindibles para obtener los exigentes requerimientos nutricionales y la proteína adecuada en la elaboración de alimentos balanceados. A pesar de que la demanda excesiva de estos alimentos se ha visto reflejada en una disminución provocada por el aumento de precios; como respuesta a este problema se ha comenzado la búsqueda de fuentes alternativas de alimentos, con

elevado contenido proteico y perfil de aminoácidos balanceado, para cumplir con esto, los insectos han sido propuestos como una alternativa viable en la formulación de dietas [23, 24]. De manera similar se ha determinado que la inclusión de harina de *Tenebrio molitor* hasta un 50% como sustituto de la harina de pescado no afecta el crecimiento de los peces ni la composición química del producto final [25].

En conejos, respecto a la conversión alimenticia se encontró que hubo una diferencia a favor de la

inclusión de *Tenebrio molitor* en la dieta, debido a que las concentraciones de vitaminas y minerales presentes en la larva lograron estimular el metabolismo, coadyuvando a lograr un mejor desempeño de los animales al ingerir el alimento [26]. Por otro lado, en cerdos de engorda, se evaluó la digestibilidad de proteína y aminoácidos en 4 diferentes dietas suministrando harina de pescado, harina de carne, harina de pollo y larvas secas de *Tenebrio molitor*; los resultados encontrados mostraron una mayor digestibilidad de lisina, histidina y arginina en los animales alimentados con las dietas que incluían harina de pollo o larva seca de *Tenebrio molitor* [27]. El aumento de la digestibilidad de los aminoácidos puede verse reflejado en el crecimiento y masa muscular de los animales, ya que se obtuvieron resultados parecidos en lechones con niveles de inclusión del 1-6% de harina de larvas como reemplazo para la harina y aceite de soya, lo cual generó un aumento en la digestibilidad de la proteína, la ganancia de peso y el peso final de los animales. Aun con estos resultados hace falta investigar más a fondo para saber límites de inclusión, beneficio económico y posibles implicaciones en la salud y morfología gastrointestinal del cerdo [28, 29].

En una granja de camarón, se llevó a cabo una evaluación del reemplazo parcial y total de la harina de pescado en la dieta con harina de larva de *Tenebrio molitor*, se logró examinar cuatro dietas con porcentajes del 0-100% de inclusión (0, 25, 50 y 100% de sustitución), obteniendo como resultado que a mayor inclusión de tenebrio en la dieta aumentaba el peso final de los crustáceos,

tasa de crecimiento específica, conversión alimenticia y aumento del 50% en profenoloxidasa, lo cual supone una mejor respuesta inmunológica en los crustáceos [30].

#### *Propiedades bioactivas*

##### Antinflamatorio

Se han realizado diversos estudios con *Tenebrio molitor* para conocer sus características como agente antiinflamatorio. En un estudio se compararon las actividades antioxidantes y antiinflamatorias de fracciones peptídicas de hidrolizados obtenidos por digestión

gastrointestinal in vitro de *Grylloides sigullatus*, *Schistocerca gregaria* y *Tenebrio molitor*; los resultados encontrados mostraron que los péptidos obtenidos del tenebrio tuvieron actividad inhibidora para COX-2 y para LOX lo que sugiere que el insecto podría tener péptidos bioactivos con actividad antioxidante y antiinflamatoria [31]. En otro estudio se evaluó los efectos de *Tenebrio molitor* como posible alimento funcional para el tratamiento de la hipertensión; el estudio se realizó en ratas con una dieta suplementada con *Tenebrio molitor* y otra con captopril (el cual se utiliza para tratar la hipertensión en humanos), los resultados encontrados mostraron que podrían indicar un potencial como tratamiento no farmacéutico para esta enfermedad, ya que se redujo la presión de perfusión coronaria en la misma medida que el captopril; también se observó que, en las ratas alimentadas con el tenebrio, los niveles de citocinas proinflamatorias (TNF- $\alpha$ , IL-1 $\beta$  e IL-6), bajaron a sus valores normales, mientras que en ratas alimentadas con una dieta de captopril, solo hubo valores bajos contra la IL-1 $\beta$ . Esto sugiere que la actividad antihipertensiva del tenebrio podría estar asociada a su efecto antiinflamatorio [32].

##### Antibacteriano

Los péptidos antimicrobianos de *Tenebrio molitor* varían en la especificidad de su actividad antimicrobiana, ya que muestran actividad contra bacterias Gram negativas y Gram positivas. Se conocen tres péptidos antimicrobianos de *Tenebrio molitor* con actividad antibacteriana, la tenecina-1, un péptido que es activo específicamente contra

bacterias Gram positivas fue identificado por primera vez a partir de una fracción de hemolinfa que mostraba actividad antimicrobiana; la tenecina-2 se identificó simultáneamente y es activa contra bacterias Gram negativas, mientras que la tenecina-4 es contra bacterias Gram negativa [33]. Tenecina 1, una proteína antibacteriana secretada por las larvas de *Tenebrio molitor*, tiene un bucle N-terminal largo y una característica estructural común de la familia de defensinas de insectos correspondiente a una hélice  $\alpha$ -anfipática corta seguida de una estructura de lámina  $\beta$  antiparalela C-terminal estabilizada por dos puentes disulfuro (denominado motiv  $\alpha/\beta$

estabilizado con cisteína. Esta proteína muestra mayor actividad bactericida contra bacterias Gram positivas especialmente estafilococos y una menor actividad contra bacterias Gram negativas. Esta actividad antibacteriana se lleva a cabo principalmente por sus puentes disulfuro y el bucle N-terminal [34]. Por otro lado, la tenecina-4, es un polipéptido grande (120 aminoácidos de longitud en la forma madura) y tiene muchos residuos de glicina (14%), este péptido muestra mayor actividad contra bacterias Gram negativas, una dosis baja de tenecina-4 inhibió el crecimiento de *E. coli*, pero no el de *S. aureus* [35].

#### Anticancerígeno

En el estudio realizado por Wu y colaboradores [36], se determinó el efecto del aceite de *Tenebrio molitor* en el carcinoma hepatocelular humano y en el adenocarcinoma colorrectal, se identificó el perfil de ácidos grasos del aceite de tenebrio y se utilizaron cultivos de células de adenocarcinoma colorrectal humano y células cancerígenas hepatocelulares. Los resultados encontrados mostraron que los ácidos grasos polinsaturados podrían influir en la inhibición de crecimiento de las células cancerígenas, pues en las células tratadas con un mayor porcentaje de ácido linoleico fueron más afectadas que aquellas en las que el nivel de ácido linoleico era menor. El aceite inhibió un mayor crecimiento de células tumorales de Caco-2 ( $92.74 \pm 6.61\%$ ), esto a las 24 h de que se aplicó el tratamiento de aceite al 1% y a las 72

h se obtuvieron resultados de  $97.88 \pm 2.02\%$ . La tasa de inhibición para las células HepG2 fue de  $62.38 \pm 18.39\%$ , después del tratamiento con 1% durante 72 h. Después de 48 h de tratamiento, el IC<sub>50</sub> del aceite de *Tenebrio molitor* en Caco-2 y HepG2 fue de 0.37 y 98% respectivamente. También se demostró que las células tratadas con este aceite presentaban apoptosis y necrosis en las células cancerígenas y que estas incrementaron al aumentar la concentración del aceite.

#### Antioxidante

Choi y colaboradores [37], menciona que el *Tenebrio molitor* además de tener un efecto antiinflamatorio en hepatocitos dañados con

alcohol; también reacciona positivamente con el sistema de defensa antioxidante hepático para revertir la toxicidad del alcohol. Los resultados encontrados demostraron que en ratones tratados con alcohol los niveles de antioxidantes no enzimáticos se redujeron en un 59.8% y en el grupo tratado con tenebrio, los niveles de antioxidantes no enzimáticos aumentaron por encima de 80.1%. Los niveles bajos de estos antioxidantes alteran las defensas antioxidantes celulares contra especies reactivas de oxígeno y causa daño hepático. Los resultados arrojados sugieren que la actividad podría estar influenciada por los aminoácidos esenciales.

### **5. Conclusiones**

El uso de *Tenebrio molitor* como fuente alternativa de proteína representa una estrategia prometedora dentro de los sistemas agroalimentarios sostenibles, particularmente en la alimentación animal, donde ha mostrado una mejora en los parámetros productivos en diversas especies; su elevada eficiencia de conversión alimenticia y su capacidad de producción bajo condiciones controladas refuerzan su viabilidad como recurso biotecnológico. No obstante, persisten limitaciones importantes que restringen su uso a gran escala, entre las que podemos mencionar la variabilidad en su composición nutricional, la necesidad de optimizar sistemas de producción, los costos asociados a su procesamiento, así como barreras regulatorias y de

aceptación social; en cuanto a sus propiedades bioactivas, diversos estudios han sugerido efectos antimicrobianos, antioxidantes y antiinflamatorios; sin embargo, la evidencia disponible es aún limitada y se basa principalmente en modelos in vitro o experimentales, por lo que no es posible establecer aplicaciones terapéuticas concluyentes. Las investigaciones futuras deberán centrarse en la estandarización de procesos productivos, la evaluación de su impacto a largo plazo en la salud animal y humana, así como en el desarrollo de marcos regulatorios que faciliten su incorporación segura en la cadena alimentaria. En este contexto, el *Tenebrio molitor* podría consolidarse como una alternativa relevante en la transición hacia

sistemas alimentarios más sostenibles

## 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] Vives AMH. Alternatives to the use of cereal grains for the feeding of *Tenebrio molitor* larvae. Tesis de licenciatura. Facultad de Veterinaria, Universidad de Zaragoza. 2020. <https://zaguan.unizar.es/record/96426/files/TAZ-TFG-2020-3804.pdf>
- [2] Yang Y, Yang J, Wu WM, Zhao J, Song Y, Gao L, Yang R, Jiang L. Biodegradation and mineralization of polystyrene by plastic-eating mealworms: part 1. Chemical and physical characterization and isotopic test. *Environ. Sci. Technol.* 2015; 49(20):12080–12086. <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b02661>
- [3] Poveda JA. New fertilizers from insect's excreta: the mealworm (*Tenebrio molitor*) case. *Ingeniería y Región.* 2018; 19:1–10. <https://doi.org/10.25054/22161325.1840>
- [4] Pérez-Grisales MS, Pineda-Ángel J. *Tenebrio molitor* (Linnaeus, 1758) (Coleoptera: Tenebrionidae): notas sobre su importancia e identificación taxonómica. *Boletín Museo Entomológico Francisco Luis Gallego.* 2020; 12(2):17–25. <https://ciencias.medellin.unal.edu.co/museos/entomologico/images/Boletín/2020-06/Boletn.pdf>
- [5] Vásquez JAA. Evaluación de bloques multinutricionales con harina de larva de *Tenebrio molitor* (Linnaeus) en el engorde de conejos (*Oryctolagus cuniculus*). Tesis de licenciatura. Universidad de San Carlos de Guatemala. 2016. <http://www.repositorio.usac.edu.gt/id/eprint/5371>
- [6] Lainez EM. Influencia de diferentes dietas en la composición nutricional del insecto comestible *Tenebrio molitor* y estudio de su pardeamiento. Tesis de licenciatura. UPN. 2017.
- [7] Arana SGE. Manejo en cautiverio de *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae) usando cinco tipos de harina. Tesis de Licenciatura. Universidad de Quintana Roo. 2018.
- [8] Vega BG. Proyecto de una granja de insectos en el T.M. de Villamayor de Gállego (Zaragoza). Tesis de licenciatura. Universidad de Zaragoza. 2019.
- [9] Palumbo B, Cullere M, Singh Y, Pontalti E, Dalle Zotte A. Yellow mealworm: effects of adult breeding density on performance. *Animal.* 2024; 18(12):101360. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2024.101360>
- [10] Sarmiento AP. Establecimiento e implementación de un protocolo de cría de gusano de harina *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae), como apoyo al programa de conservación de la rana venenosa dorada *Phyllobates Terribilis* (Anura: Dendrobatidae) en el bioparque Wakatá, Parque Jaime Duque. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional Abierta y a Distancia "UNAD". Zootecnia. Escuela De Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio 2018. 35425648.pdf
- [11] Oonincx DGAB, van Keulen P, Finke MD, Baines FM, Vermeulen M, Bosch G. Evidence of vitamin D synthesis in insects exposed to UVb light. *Sci Rep.* 2018; 8:10807. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-29232-w>
- [12] Pérez AA. Valoración nutricional de harinas de cucaracha de Madagascar (*Gromphadorhina portentosa*) y *Tenebrio molitor* para su uso en acuicultura. Tesis de maestría. Universidad Autónoma de Aguascalientes. 2019. <http://hdl.handle.net/11317/1702>
- [13] Intrago TCS, Valencia YB. Determinación de antocianinas y valor nutricional de *Tenebrio molitor* alimentados con dietas enriquecidas con maíz morado (*Zea mays* L.). Tesis de licenciatura. Universidad Politécnica Salesiana. 2014. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/7261>
- [14] Rumpold B, Schlüter O. Nutritional composition and safety aspects of edible insects. *Mol Nutr Food Res.* 2013; 57(5):802–823. DOI:<https://doi.org/10.1002/mnfr.201200735>
- [15] Jansson A, Berggren A. Insects as food: something for the future? Swedish University of Agricultural Sciences. 2015. file:///C:/Users/arman/AppData/Local/Microsoft/EdgeDownload/s/b799f406-eaec-492f-83b9-4fafd7512c23/JanssonBerggren.pdf
- [16] Avendaño C, Sánchez M, Valenzuela C. Insectos: ¿Son realmente una alternativa para la alimentación? *Rev Chil Nutr.* 2020; 47(6):1029-1037. DOI:<http://dx.doi.org/10.4067/S0717-75182020000601029>
- [17] Allegretti G, Talamini E, Schmidt V, Bogorni P, Ortega E. Insect as feed: an emergy assessment. *J Clean Prod.* 2018; 171:403–412. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.09.244>
- [18] Makkar H, Tran G, Heuzé V, Ankers P. State-of-the-art on use of insects as animal feed. *Anim Feed Sci Technol.* 2014; 197:1-33. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2014.07.008>
- [19] Bovera F, Piccolo G, Gasco L, Marono S, Loponte R, Vassalotti G, Mastellone V, Lombardi P, Attia YA, Nizza A. Yellow mealworm larvae (*Tenebrio molitor*, L.) as a possible alternative to soybean meal in broiler diets. *British Poultry Science.* 2015; 56(5):569–575. DOI:<https://doi.org/10.1080/00071668.2015.1080815>
- [20] Ballitoc DA, Sun S. Ground yellow mealworms supplementation improves growth performance in broilers. *Open Science Repository Agriculture.* 2013. DOI: <https://doi.org/10.7392/openaccess.23050425>
- [21] Bovera F, Loponte R, Marono S, Piccolo G, Parisi G, Iaconisi V, Gasco L, Nizza A. Use of larvae meal as protein source in broiler diet. *Journal of Animal Science.* 2016; 94(2):639–647. DOI:<https://doi.org/10.2527/jas.2015-9201>
- [22] Biasato I, Gasco L, De Marco M, Renna M, Rotolo L, Dabbou S, Capucchio MT, Biasibetti E, Tarantola M, Sterpone L, Cavallarin L, Gai F, Pozzo L, Bergagna S, Dezzutto D, Zoccarato I, Schiavone A. Yellow mealworm larvae (*Tenebrio molitor*) inclusion in diets for male broiler chickens: effects on growth performance, gut morphology, and histological findings. *Poultry Science.* 2018; 97(2):540-548. DOI:<https://doi.org/10.3382/ps/pe308>
- [23] Sánchez-Muros MJ, Barroso FG, Manzano-Agugliaro F. Insect meal as renewable source of feed: a review. *Journal of Cleaner Production.* 2014; 65:16-27. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.11.068>
- [24] Iaconisi V, Bonelli A, Pupino R, Gai F, Parisi G. Mealworm as dietary protein source for rainbow trout: Body and fillet quality traits. *Aquaculture.* 2018; 484:197-204. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.11.034>
- [25] Sánchez-Muros MJ, Barroso FG, de Haro C. Chapter 10 - Brief Summary of Insect Usage as an Industrial Animal Feed/Feed Ingredient. In *Insects as Sustainable Food Ingredients*. AT Dossey, JA Morales-Ramos, MG Roja. Academic Press. 2016; p. 273–309. DOI:10.1016/C2014-0-03534-4
- [26] Díaz MG. Uso de la larva de *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae) como aditivo proteico, en la alimentación de codornices (*Coturnix coturnix japonica*). Tesis de licenciatura. Universidad de San Carlos. 2014. <http://www.repositorio.usac.edu.gt/id/eprint/1596>
- [27] Yoo JS, Cho KH, Hong JS, Jang HS, Chung YH, Kwon GT, Shin DG, Kim YY. Nutrient ileal digestibility evaluation of dried mealworm (*Tenebrio molitor*) larvae compared to three animal protein by-products in growing pigs. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences (AJAS).* 2018; 32(3):387-394. DOI:<https://doi.org/10.5713/ajas.18.0647>
- [28] Jin XH, Heo PS, Hong JS, Kim NJ, Kim YY. Supplementation of Dried Mealworm (*Tenebrio molitor* larva) on Growth Performance, Nutrient Digestibility and Blood Profiles in Weaning Pigs. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences (AJAS).* 2016; 29(7):979-986. DOI:<https://doi.org/10.5713/ajas.15.0535>
- [29] Medrano LCV. Larvas de gusano de harina (*Tenebrio molitor*) como alternativa proteica en la alimentación animal. Tesis de licenciatura. Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiental, Universidad Nacional Abierta y a Distancia. 2019.
- [30] Choi IH, Kim JM, Kim NJ, Kim JD, Park C, Park J, Chung TH. Replacing fish meal by mealworm (*Tenebrio molitor*) on the growth performance and immunologic responses of white shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Acta Scientiarum. Animal Sciences.* 2018; 40(1):e39077. DOI:<https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v40i1.39077>
- [31] Zielinska E, Kara M, Jakubczyk A. Antioxidant activity of protein from edible insects. *International Journal of Food Science and Technology.* 2017; 52(2):306–312. DOI:<https://doi.org/10.1111/ijfs.13282>
- [32] Pessina F, Frosini M, Marcolongo P, Fusi F, Saponara S, Gamberucci A, Valoti M, Giustarini D, Fiorenzani P, Gorelli B,

- Francardi V, Botta M, Dreassi E. Antihypertensive, cardio- and neuro-protective effects of *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae) defatted larvae in spontaneously hypertensive rats. PLoS One. 2020; 15(5):e0233788. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0233788>
- [33] Lee KH, Hong SY, Oh JF, Kwon MY, Yoon JH, Lee J, Lee BL, Moon HM. Identification and characterization of the antimicrobial peptide corresponding to C-terminal  $\beta$ -sheet domain of tenecin 1, an antibacterial protein of larvae of *Tenebrio molitor*. Biochem J. 1998; 334(1):99–105. DOI:<https://doi.org/10.1042/bj3340099>
- [34] Lee KH, Hong SY, Oh JE. Synthesis and structure-function study about tenecin 1, an antibacterial protein from larvae of *Tenebrio molitor*. FEBS Lett. 1998; 439(1–2):41–45. DOI:[https://doi.org/10.1016/S0014-5793\(98\)01333-7](https://doi.org/10.1016/S0014-5793(98)01333-7)
- [35] Chae JH, Kurokawa K, So Y, Hwang HO, Kim M, Park J, Jo Y, Lee YS, Lee BL. Purification and characterization of tenecin 4, a new anti-Gram-negative bacterial peptide, from the beetle *Tenebrio molitor*. Developmental & Comparative Immunology, 2012; 36(3):540–546. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.dci.2011.09.010>
- [36] Wu RA, Ding Q, Lu H, Tan H, Sun N, Wang K, He R, Luo L, Ma H, Li Z. Caspase 3-mediated cytotoxicity of mealworm larvae (*Tenebrio molitor*) oil extract against human hepatocellular carcinoma and colorectal adenocarcinoma. Journal of Ethnopharmacology. 2020; 250:112438 DOI:<https://doi.org/10.1016/j.jep.2019.112438>
- [37] Choi R, Ham JR, Ryu H, Lee SS, Miguel MA, Paik M, Ji M, Park K, Kang K, Lee H, Lee M. Defatted *Tenebrio molitor* Larva Fermentation Extract Modifies Steatosis, Inflammation and Intestinal Microflora in Chronic Alcohol-Fed Rats. Nutrients. 2020; 12(5):1426. DOI:<https://doi.org/10.3390/nu12051426>