



Universidad Autónoma De Querétaro

Facultad De Química

“Evaluación de la actividad insecticida e insectistática de extractos orgánicos de *Salvia connivens* (Lamiales: Lamiaceae) contra *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae)”

Tesis

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de
Maestro en Ciencia y Tecnología Ambiental

Presenta

IAQ. Manolo Rodríguez Cervantes

Dirigido Por:

Dr. Miguel Angel Ramos López

Santiago De Querétaro, Querétaro, agosto de 2025

La presente obra está bajo la licencia:
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es>



CC BY-NC-ND 4.0 DEED

Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional

Usted es libre de:

Compartir — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato

La licenciante no puede revocar estas libertades en tanto usted siga los términos de la licencia

Bajo los siguientes términos:



Atribución — Usted debe dar [crédito de manera adecuada](#), brindar un enlace a la licencia, e [indicar si se han realizado cambios](#). Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licenciante.



NoComercial — Usted no puede hacer uso del material con [propósitos comerciales](#).



SinDerivadas — Si [remezcla, transforma o crea a partir](#) del material, no podrá distribuir el material modificado.

No hay restricciones adicionales — No puede aplicar términos legales ni [medidas tecnológicas](#) que restrinjan legalmente a otras a hacer cualquier uso permitido por la licencia.

Avisos:

No tiene que cumplir con la licencia para elementos del material en el dominio público o cuando su uso esté permitido por una [excepción o limitación](#) aplicable.

No se dan garantías. La licencia podría no darle todos los permisos que necesita para el uso que tenga previsto. Por ejemplo, otros derechos como [publicidad, privacidad, o derechos morales](#) pueden limitar la forma en que utilice el material.

Universidad Autónoma De Querétaro
Facultad De Química
Maestría en Ciencia y Tecnología Ambiental

“Evaluación de la actividad insecticida e insectistática de
extractos orgánicos de *Salvia connivens* (Lamiales:
Lamiaceae) contra *Tenebrio molitor* (Coleoptera:
Tenebrionidae)

Tesis

Que como parte de los requisitos para obtener el Grado de
Maestro en Ciencia y Tecnología Ambiental

Presenta
IAQ. Manolo Rodríguez Cervantes

Dirigido por:
Dr. Miguel Angel Ramos López

Dr. Miguel Angel Ramos López
Presidente

Dr. Juan Campos Guillen
Secretario

Dr. Eloy Rodríguez de León
Vocal

Dr. Víctor Pérez Moreno
Suplente

M. en C. Luis Ricardo León Herrera
Suplente

Centro Universitario, Santiago de Querétaro, Qro, agosto de 2025

DEDICATORIA

A mi apá y mi amá, Rafael y Francis, quienes, con su amor incondicional, su entereza y sus valiosas enseñanzas, me dieron las alas para soñar y los pies para caminar con firmeza. Esto es el fruto de su sacrificio y de la confianza que siempre depositaron en mí.

A mis hermanos, Ana, Rafa y Hugo, y sobrinitos Rafita, Huguito y Mauich, por ser mi mayor apoyo, inspiración y fortaleza en los momentos de duda. Gracias por nunca dejarme solo y por cada palabra de aliento que me mantuvo de pie.

A San Juditas Tadeo, por escuchar mis súplicas y guiar mis pasos cuando más lo necesité. Esta tesis es la muestra de mi promesa cumplida y eterno agradecimiento.

Al amor y acompañamiento que siempre soñé, gracias Yeya.

AGRADECIMIENTOS

De manera especial, extendiendo mi profunda gratitud a la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) por la beca con número 1310311 otorgada, la cual fue fundamental para poder dedicarme de tiempo completo a este proyecto de investigación.

A mi comité tutorial, por su invaluable guía, paciencia y rigor académico. Particularmente, quiero agradecer al Doc Ramos, por creer en mí desde que llegué a su laboratorio, por darme la oportunidad de crecer y por todas sus enseñanzas. Sin su apoyo, su confianza y su guía, no habría podido tener el impulso para llegar hasta aquí.

A mis compañeros del Laboratorio de Compuestos Naturales Insecticidas, gracias por la diversión, el apoyo y el acompañamiento durante mi estancia. Su amistad y su camaradería hicieron de este camino una experiencia.

ÍNDICE GENERAL

Contenido	Página
ÍNDICE DE CUADROS	iv
ÍNDICE DE FIGURAS	v
RESUMEN	
ABSTRACT	
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	3
2.1. Contaminación por uso de plaguicidas	3
2.1.1. Contaminación de aire	3
2.1.2. Contaminación de suelo	3
2.1.3. Contaminación de agua	4
2.2. Granos almacenados	4
2.2.1. Importancia del almacenamiento de granos	4
2.2.2. Enfermedades	5
2.2.3. Plagas	6
2.2.3.1. Aves	6
2.2.3.2. Roedores	6
2.2.3.3. Artrópodos	7
2.3. <i>Tenebrio molitor</i>	8
2.3.1. Ciclo biológico	9
2.3.2. Manejo mecánico	9
2.3.3. Manejo biológico	11
2.3.4. Manejo químico-sintético	11
2.3.5. Manejo botánico	12
2.4. <i>Salvia connivens</i>	14
2.4.1. Fitoquímica	15
2.4.2. Actividad biológica contra insectos	17
3. HIPÓTESIS	19

4. OBJETIVOS	20
4.1. OBJETIVO GENERAL	20
4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	20
5. METODOLOGÍA	21
5.1. Sitio de estudio	21
5.2. Crianza de <i>Tenebrio molitor</i>	21
5.3. Material vegetal	22
5.4. Obtención de los extractos orgánicos de <i>Salvia connivens</i>	22
5.5. Evaluación de la actividad insecticida e insectistática de los extractos orgánicos de partes aéreas de <i>Salvia connivens</i> contra <i>Tenebrio molitor</i>	22
5.6. Identificación y cuantificación del compuesto mayoritario presente en el extracto con mayor actividad insecticida e insectistática de <i>Salvia connivens</i> sobre <i>Tenebrio molitor</i>	24
5.7. Evaluación de la actividad insecticida e insectistática del compuesto mayoritario en el extracto orgánico de mayor actividad biológica	25
5.8. Análisis estadístico	26
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	27
6.1. Rendimientos de los extractos orgánicos de hojas de <i>Salvia connivens</i>	27
6.2. Actividad insecticida del extracto metanólico foliar de <i>S. connivens</i> contra <i>T. molitor</i>	28
6.3. Actividad insecticida del extracto diclorometánico foliar de <i>S. connivens</i> contra <i>T. molitor</i>	30
6.4. Actividad insectistática del extracto diclorometánico foliar de <i>S. connivens</i> contra <i>T. molitor</i>	32
6.5. Identificación del compuesto mayoritario en el extracto metanólico foliar de <i>S. connivens</i>	34
6.6. Actividad insecticida del ácido rosmarínico contra <i>T. molitor</i>	37

6.7. Actividad insectistática del ácido rosmarínico contra <i>T. molitor</i>	39
7. CONCLUSIONES	42
8. PERSPECTIVAS	43
9. REFERENCIAS	44

ÍNDICE DE CUADRO

Cuadro	Página
1. Taxonomía de <i>T. molitor</i>	8
2. Taxonomía de <i>S. connivens</i>	14
3. Composición de 500 g de sustrato de cría de <i>T. molitor</i>	21
4. Componentes de 50 mL de dieta artificial	23
5. Gradiente de elución para la determinación del compuesto mayoritario	25
6. Actividad insecticida del extracto metanólico de <i>S. connivens</i> contra <i>T. molitor</i>	29
7. Actividad insecticida del extracto diclorometánico de <i>S. connivens</i> contra <i>T. molitor</i>	31
8. Actividad insectistática del extracto diclorometánico de <i>S. connivens</i> contra <i>T. molitor</i>	33
9. Actividad insecticida del ácido rosmarínico contra <i>T. molitor</i>	38
10. Actividad insectistática del ácido rosmarínico contra <i>T. molitor</i>	40

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Ciclo biológico de <i>T. molitor</i>	9
2. Plantas de <i>S. connivens</i>	15
3. Estructuras moleculares del ácido ursólico (a), ácido oleanólico (b), ácido dihidroursólico (c) y eupatorina	16
4. Estructura de flavona y sustituyentes que la constituyen como eupatorina (1), cirsilinol (2) y nuchensin (3)	16
5. Estructura del nonanal	18
6. Cromatograma del estándar de ácido rosmarínico mostrando las señales a diferentes concentraciones (25-200 $\mu\text{g mL}^{-1}$)	35
7. Cromatograma del extracto metanólico de <i>S. connivens</i>	36

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD DE ESTUDIANTE:

Declaro que los datos propios obtenidos en esta investigación fueron generados durante el desarrollo de mi trabajo de tesis de forma ética y reporto detalles necesarios para que los resultados de esta tesis sean reproducibles en eventuales investigaciones futuras.

Finalmente, este manuscrito de tesis es un trabajo original en el cual se declaró y dio reconocimiento a cualquier colaboración o cita textual presentadas en el documento



Firma del estudiante

RESUMEN

El gusano harinero (*Tenebrio molitor*) es una especie cosmopolita que infesta granos y productos almacenados, capaz de provocar pérdidas de hasta el 75 % de estos productos. El manejo convencional de esta plaga consiste en la aplicación de fumigantes sintéticos, los cuales tienen repercusiones en la salud y el ambiente. Por lo que, es necesaria la implementación de alternativas para el manejo de esta plaga, entre las que se encuentra el manejo botánico en la cual se emplean aceites esenciales, así como extractos acuosos y orgánicos de especies vegetales. *Salvia connivens* es una planta endémica de México que, al igual que otras especies vegetales, produce una variedad de metabolitos secundarios. Entre estos se encuentran alcaloides, terpenoides, lactonas, saponinas, taninos y flavonas, que son de interés debido a su potencial en el manejo de plagas. Por lo que, el objetivo de este trabajo fue evaluar la actividad insecticida e insectistática de los extractos metanólico y diclorometánico de hojas de *Salvia connivens* contra larvas de *T. molitor*. La actividad insecticida fue evaluada a través de la mortalidad generada con el consumo de una dieta artificial adicionada con el extracto durante 30 d. Mientras que, la actividad insectistática se determinó mediante el registro de la ganancia de peso larval a través de los 30 d de consumo de la dieta artificial adicionada con extracto. Se identificó el compuesto mayoritario del extracto metanólico con mayor actividad biológica mediante cromatografía de líquidos de alta presión (HPLC, por sus siglas en inglés) y se evaluó la actividad insecticida e insectistática de este compuesto en forma pura, de la misma manera en que se realizó con los extractos orgánicos. El extracto metanólico presentó la mejor actividad insecticida contra larvas de *T. molitor*, mostrando una CL₅₀ de 1857 ppm en solo siete días de exposición a la ingesta de este extracto. Mientras que, el extracto de diclorometano exhibió una actividad insecticida menor con un valor de CL₅₀ de 9367 ppm después de 30 d. Sin embargo, presentó actividad insectistática a una concentración de 10000 ppm que se manifestó en una menor ganancia de peso (52 %) en comparación con la dieta control. Con respecto a la composición del extracto metanólico, el ácido rosmarínico resultó ser el compuesto predominante, encontrado en una concentración de 80.45 mg g⁻¹ de extracto. Sin embargo, a pesar de ser el compuesto mayoritario, el ácido rosmarínico no exhibió actividad insecticida contra larvas de *T. molitor*, aunque sí un efecto antialimentario al provocar una menor ganancia de peso (20 %) con respecto a la dieta control.

Palabras clave: Gusano harinero; actividad antialimentaria; ácido rosmarínico

ABSTRACT

The yellow mealworm (*Tenebrio molitor*) is a cosmopolitan species that attacks stored grains. This pest can cause losses of up to 75 % of these products. The conventional way to manage this pest is through the application of synthetic fumigants. These products have negative impacts on human health and the environment. Thus, alternatives to control this pest are needed such as botanical management that employs essential oils, aqueous and organic extracts of plant species. *Salvia connivens* is an endemic plant to Mexico that, like other plant species, produces a variety of secondary metabolites. Among these are alkaloids, terpenoids, lactones, saponins, tannins and flavones, which are remarkable for their potential in pest management. Therefore, the aim of this study was to assess the insecticidal and insectistatic activities of *S. connivens* leaf methanolic and dichloromethane extracts against *T. molitor* larvae. The insecticidal activity was evaluated through the mortality caused by consumption of an artificial diet with plant extract during 30 d. On the other hand, the insectistatic activity of the extract was determined through the recording of the larva weight gain during the 30 d of diet consumption. The major compound in the methanolic extract was identified through High-Performance Liquid Chromatography (HPLC) and its insecticidal and insectistatic activities were assessed in the same manner as the organic extracts. The methanolic extract showed the best insecticidal effect against *T. molitor* larvae, showing an LC₅₀ of 1857 ppm at seven days of consumption of this extract. While the dichloromethane extract exhibited a lower insecticidal activity with a LC₅₀ of 9367 ppm after 30 d of exposure. Yet, it showed an insectistatic effect at 10000 ppm with a 52 % weight decrease compared to the control diet. Regarding the composition of the methanolic extract, the rosmarinic acid was found to be the most abundant compound with a concentration of 80.45 mg g⁻¹ of extract. However, despite being the major compound of this extract, rosmarinic acid did not show insecticidal activity against *T. molitor*. Instead, it exhibited an antifeedant effect, causing a lower weight gain compared to the control group.

Keywords: Yellow mealworm; antifeedant activity; rosmarinic acid

1. INTRODUCCIÓN

Los plaguicidas son una herramienta extensamente utilizada en la industria agrícola y alimenticia para proteger el alimento durante su proceso de cultivo, transporte y almacenamiento. Sin embargo, la creciente necesidad de producir alimento, el inevitable manejo de plagas y el uso indiscriminado de plaguicidas han ocasionado que estos representen un problema ambiental. Estos contaminantes pueden llegar a acumularse en los distintos compartimentos ambientales por diferentes vías de movilización y deposición en el entorno.

El almacenamiento de productos alimenticios, principalmente granos, representa una medida de seguridad al promover la conservación de alimento y reducir las pérdidas postcosecha, garantizando seguridad alimentaria al proveer tanto a poblaciones productoras como a no productoras y disponer de ellos en situaciones de emergencia. Sin embargo, estas grandes cantidades de alimento se ven comprometidas ante la infestación de plagas que pueden ocasionar pérdidas de hasta el 75%. Dentro de los principales insectos que se caracterizan por infestar granos almacenados se encuentra *T. molitor*, especie que se encuentra distribuida de manera internacional.

La manera convencional de manejar esta plaga es mediante el uso de insecticidas sintéticos, los cuales ocasionan un impacto negativo en la salud humana, en el ambiente y generar resistencia en los insectos que se busca controlar, razones por la cual se busca una manera alternativa para su manejo. Compuestos que forman parte del metabolismo secundario de diversas plantas pueden llegar a extraerse en forma de aceites esenciales, extractos acuosos u orgánicos, los cuales han demostrado tener actividad insecticida e incluso insectistática contra plagas, además de ser seguros y no afectar de manera negativa al ambiente. *S. connivens* es una planta herbácea perenne nativa de México en la que se han reportado la presencia de compuestos naturales como alcaloides, terpenoides, saponinas,

lactonas, taninos y flavonas, que resultan de interés en el manejo fitosanitario por su actividad biológica en insectos. Por esta razón, este trabajo buscó evaluar la actividad insecticida y/o insectistática de los extractos metanólico y diclorometánico de hojas de *S. connivens* contra *T. molitor*.

2. ANTECEDENTES

2.1. Contaminación por uso de plaguicidas

Los plaguicidas son agentes químicos destinados para el control de especies que infrinjan un daño económico o pérdida sobre un producto de interés. Son utilizados comúnmente en la agricultura y ganadería para proteger los alimentos de infestaciones durante su cultivo, transporte y almacenamiento (Fang *et al.*, 2020). Estos productos agroquímicos han aportado de manera significativa a la seguridad alimentaria, sin embargo, debido a su extensión y uso indiscriminado de uso han generado un impacto negativo en el ambiente, principalmente en atmósfera, suelo y agua (Tang *et al.*, 2021).

2.1.1. Contaminación de aire

La contaminación de aire por el uso de plaguicidas ocurre primordialmente por la volatilización de estos. Este proceso puede ocurrir mediante la aplicación directa de fumigantes, evaporación del agente químico en fase líquida o en solución acuosa, la sublimación de una fase sólida o desorción de la matriz del suelo. Además, en el momento de la aplicación de estos productos en fase líquida mediante aspersión se pierde hasta el 50 % de plaguicida, el cual es emitido directamente al aire (Galon *et al.*, 2021; Liu *et al.*, 2021).

2.1.2. Contaminación de suelo

La manera en que los plaguicidas consiguen alcanzar el suelo puede ocurrir de distintas formas. Cuando los plaguicidas son aplicados en campo no son aprovechados en su totalidad, depositándose en el suelo alrededor del 50% de la cantidad aplicada. En adición a esto, la cantidad de producto que se encuentra

depositado sobre los órganos de las plantas se lavan con aguas pluviales y durante el riego que posteriormente entran en el suelo (Schleiffer y Speiser, 2022).

2.1.3. Contaminación de agua

Los plaguicidas pueden llegar a cuerpos de agua de varias maneras. Cuando estos contaminantes se encuentran en el aire pueden recorrer grandes distancias por las corrientes de aire y ser precipitados directamente sobre aguas superficiales después de la deposición atmosférica (Mamy *et al.*, 2021). También es posible que estos compuestos lleguen a aguas superficiales y subterráneas mediante percolación, infiltración y aguas de escorrentía (de Souza *et al.*, 2020).

2.2. Granos almacenados

El almacenamiento de alimentos es una medida de preservación que consiste en el confinamiento de granos y productos derivados en un espacio designado, manteniendo así sus características organolépticas y su valor nutricional para su consumo futuro (Afriyie *et al.*, 2022). Los granos son los alimentos más comunes de almacenar en regiones tropicales y subtropicales, los cuales conservan para ser utilizados como semilla para establecer nuevas plantaciones (Mobolade *et al.*, 2019). Se incluyen en granos a los cereales, legumbres y semillas oleaginosas (Codină, 2022).

2.2.1. Importancia del almacenamiento de granos

El almacenamiento de granos forma parte fundamental de la seguridad alimentaria, siendo esenciales para la alimentación mundial. Los granos con mayor importancia

mundial son el maíz, trigo y arroz, siendo además la soya la semilla oleaginosa más producida (Mesterházy, Oláh y Popp, 2020).

Alrededor de la mitad de las calorías que se consumen en el mundo provienen directamente de los cereales, razón por la cual son considerados como la fuente más importante de energía para la población. En países desarrollados, los cereales proveen de aproximadamente el 30 % de la ingesta total de calorías. Por otro lado, los países en vías de desarrollo consumen cerca del 60 % de sus calorías en forma de granos. Mientras que los países menos desarrollados son los que dependen de los granos en mayor cantidad, sobrepasando hasta el 80 % de su ingesta calórica con este tipo de alimentos (Awika, 2011; Olugbire, Olorunfemi y Oke, 2021).

2.2.2. Enfermedades

Las bacterias y hongos son capaces de hospedarse en los granos causando afecciones en estos, que pueden alterar su calidad. Sin embargo, los hongos son los principales microorganismos que son objetivo de prevención y control. Además de ser fitopatógenos, muchas especies de estos son productores de micotoxinas, las cuales son de gran interés por contaminar los granos y volverlos inseguros para su consumo animal y humano (Solanki *et al.*, 2021).

Las micotoxinas más comunes de encontrar en granos son las aflatoxinas, ocratoxinas, fumonisinas, zearalenonas y deoxinivalenol. *Aspergillus flavus* y *Aspergillus parasiticus*, son las principales especies conocidas por producir aflatoxinas y contaminar granos almacenados. Por otra parte, las ocratoxinas son originadas por especies de los géneros *Aspergillus* y *Penicillium*, tales como *Aspergillus ochraceus* y *Penicillium verrucosum*, por mencionar algunas. Mientras que las fumonisinas, zearalenonas y dioxinivalenol son producidas por especies del *Fusarium*, principalmente *Fusarium verticillioides*, *Fusarium roseum* y *Fusarium*

culmorum, (Mir *et al.*, 2021). Estas sustancias pueden llegar a ser carcinógenas, teratógenas, mutagénicas, neurotóxicas e inmunotóxicas, por menciona algunas afecciones (Matumba *et al.*, 2021).

2.2.3. Plagas

Múltiples plagas son capaces de afectar a los productos almacenados, siendo todos de suma importancia al contar con la capacidad de generar grandes pérdidas. Entre estas se encuentran principalmente aves, roedores y artrópodos, entre los cuales se destacan arácnidos e insectos.

2.2.3.1. Aves

Las aves son capaces de producir pérdidas que pueden rondar entre el 9 y el 40 % en el almacenamiento de granos, siendo responsables hasta del 9% de la pérdida de granos a nivel mundial. Las especies que se relacionan con daños y pérdidas en granos pertenecen a los géneros *Columba* (Columbiformes: Columbidae), *Corvus* (Paseriformes: Corvidae), *Acridotheres* (Passeriformes: Sturnidae) y *Passer* (Passeriformes: Passeridae), por mencionar algunos (Muhammad *et al.*, 2023).

2.2.3.2. Roedores

Los roedores representan una gran fuente de contaminación y pérdidas de granos en postcosecha. Además, son responsables de su pérdida de calidad, representando así potenciales problemas de salud pública y seguridad alimentaria. Algunas de las especies relacionadas al daño en granos almacenados son la rata negra (*Rattus rattus*), el ratón doméstico (*Mus musculus*) y la rata africana (*Mastomys natalensis*) (Rodentia: Muridae) (Edoh Ognakossan *et al.*, 2018). Los

roedores son capaces de producir pérdidas de granos entre el 26 y 50 % durante el almacenamiento (Edoh Ognakossan *et al.*, 2016; Marid y Md-Jamshed, 2021).

2.2.3.3. Artrópodos

Los artrópodos, que incluyen tanto a ácaros como insectos, son considerados la principal causa de pérdidas económicas de productos almacenados al consumir enormes cantidades de granos contaminándolos con sus excretas y sus cadáveres volviéndolos no aptos para el consumo humano y animal (Taha *et al.*, 2019; Ezeobiora, Kemabonta y Makanjuola, 2021).

Sin embargo, son los insectos el factor más alarmante por su gran capacidad de afectar granos almacenados. La infestación de insectos en los almacenes tiene origen mediante el transporte de estas plagas que invaden los campos de cereales y llegan a los almacenes donde se confinan y reproducen, representando un gran problema para la industria de productos almacenados llegando a presentar pérdidas de 10% en países desarrollados y de entre 35 hasta 75% en países en vías de desarrollo (Morrison *et al.*, 2019; de Sousa *et al.*, 2023).

Las plagas de insectos en granos almacenados se clasifican en dos grupos, primarias y secundarias. Las plagas primarias son aquellas que se alimentan directamente de granos en buen estado que no han sido roídos previamente. Mientras que las secundarias se alimentan de los residuos de granos generados por las plagas primarias (Johnson, 2020).

Entre las plagas primarias más importantes se encuentran el gorgojo del arroz (*Sitophilus oryzae*), el gorgojo del grano (*Sitophilus granarius*) (Coleoptera: Curculionidae), el barrenador menor de los granos (*Rhyzopertha dominica*) (Coleoptera: Bostrichidae) y el gorgojo del frijol (*Callosobruchus chinensis*) (Coleoptera: Bruchidae). Mientras que, las plagas secundarias las comprenden

especies como el gorgojo rojizo de los granos (*Cryptolestes ferrugineus*) (Coleoptera: Cucujidae), el escarabajo dentado del grano (*Oryzaephilus surinamensis*) (Coleoptera: Silvinidae), el gorgojo castaño de la harina (*Tribolium castaneum*) y el gusano amarillo de la harina o también conocido como escarabajo molinero (*Tenebrio molitor*) (Coleoptera: Tenebrionidae) (Kavallieratos *et al.*, 2021; Singh *et al.*, 2021).

2.3. *Tenebrio molitor*

Tenebrio molitor, es una especie originaria de Europa que se encuentra distribuida mundialmente (Mariod, Saeed Mirghani y Hussein, 2017; Vanderwel *et al.*, 2017). Este insecto forma parte de la familia Tenebrionidae (Véase Cuadro 1), siendo la sexta familia con el mayor número de especies del orden Coleoptera con un aproximado de 20000 especies agrupadas en 2300 géneros (Cifuentes-Ruiz y Zaragoza-Caballero, 2014; Nabozhenko, 2019).

Cuadro 1. Taxonomía de *T. molitor* (Schoch *et al.*, 2020).

Dominio	Eukarya
Reino	Metazoa
Phylum	Arthropoda
Clase	Insecta
Orden	Coleoptera
Familia	Tenebrionidae
Género	<i>Tenebrio</i>
Especie	<i>T. molitor</i>

Esta especie es considerada como una plaga de suma importancia en productos

almacenados tales como granos de cereales, harinas y otros alimentos (Janković-Tomanić *et al.*, 2019; Rho y Lee, 2022).

2.3.1. Ciclo biológico

El gusano harinero es un insecto que cuenta con metamorfosis completa, estando su ciclo de vida dividido en cuatro etapas de crecimiento: huevo, larva, pupa y adulto (Costa *et al.*, 2020) (Véase Figura 1). La duración del ciclo biológico de *T. molitor* puede variar demasiado, presentando duraciones de 280 a 630 días, relacionado directamente a condiciones ambientales como la temperatura, el fotoperiodo, humedad y la disponibilidad de alimento (Żołnierczyk y Szumny, 2021; Eberle *et al.*, 2022).

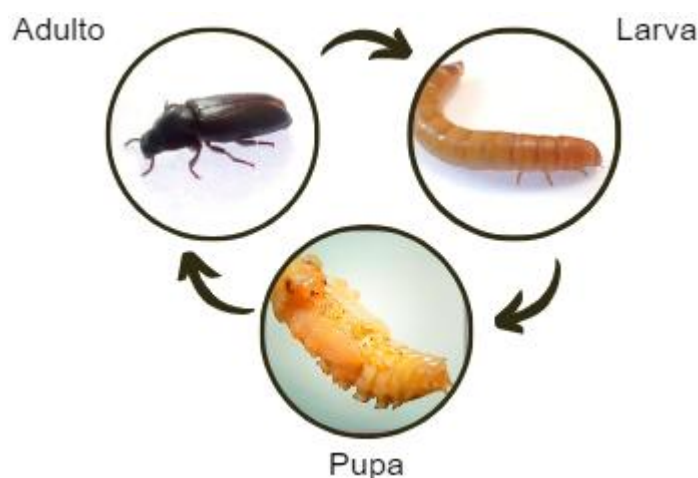


Figura 1. Ciclo biológico de *T. molitor* (Canteri-de Souza *et al.*, 2018).

2.3.2. Manejo mecánico

Una de las maneras de controlar las infestaciones de este insecto en las masas de granos es mediante el ajuste de la temperatura en los lugares de almacenamiento. Esto se logra ajustando la temperatura alrededor por debajo de los 20 °C que puede

disminuir hasta los 15 °C, debido a que por debajo de 17 °C se limita el desarrollo de los insectos) (Ziegler, Paraginski y Ferreira, 2021).

El uso de tierras diatomáceas también han demostrado ser una medida física efectiva para el control de larvas y adultos de *T. molitor*. Estas tierras diatomáceas afectan la cutícula del insecto, la cual desempeña la función de barrera física para evitar la pérdida de agua de su cuerpo y servir de protección ante sustancias dañinas y corrosivas. Estas son mezcladas con los granos o depositadas directamente sobre la superficie de las masas de cereales que, al entrar en contacto con la cutícula del insecto, absorben los lípidos que la constituyen dejándolo expuesto y consecuentemente matando al insecto por desecación (Alkan *et al.*, 2019;ourgouta, Rumbos y Athanassiou, 2022).

El almacenamiento de estos productos en atmósferas controladas, por su parte, consiste en modificar la proporción de los gases presentes en el ambiente de almacenaje, reduciendo el oxígeno o incrementando el dióxido de carbono, causando cambios en la respiración y el metabolismo del insecto (Cao *et al.*, 2019). A su vez, también se utilizan atmósferas modificadas como los ambientes o contenedores herméticos, los cuales limitan el oxígeno, mismo que se va consumiendo por la respiración de los seres vivos contenidos en el ambiente formando una atmósfera reducida en oxígeno y alta en dióxido de carbono (Silva *et al.*, 2018).

La irradiación ionizante, como el uso de rayos gamma, también es efectiva para el manejo de esta plaga al causar un impacto en su desarrollo y reproducción, además de causar mortalidad y esterilidad. Además, no causa cambios significativos en los productos sobre los que se aplica (Tabikha, 2022).

2.3.3. Manejo biológico

El uso de microorganismos entomopatógenos ha representado una de las alternativas de control más efectivas en contra de esta plaga de granos almacenados al ser muy compatible con estos sistemas y no producir efectos tóxicos en mamíferos. *Bacillus thuringiensis* forma parte de estos microorganismos siendo la bacteria comercial más exitosa por su efectividad de controlar insectos, aún en productos almacenados donde *T. molitor* es susceptible a sus toxinas (Oppert, Martynov y Elpidina, 2012; Rumbos y Athanassiou, 2017).

A su vez, existen también numerosos hongos entomopatógenos los cuales figuran como una opción de control biológico de este insecto en almacenes de granos y alimentos. Algunos de los hongos que han demostrado una alta virulencia contra el gusano amarillo de la harina son *Beauveria bassiana*, *Clonostachys rossmanniae*, *Metarhizium flavoviride*, *Metarhizium lepidiotae* y *Metarhizium robertsii* (Kim *et al.*, 2018; Ak, 2019).

2.3.4. Manejo químico-sintético

La manera más común de controlar esta plaga es mediante el uso de fumigantes de origen sintético, los cuales tienen un impacto negativo en el ambiente como la destrucción de la capa de ozono y en la salud humana, además de generar resistencia en los insectos que se busca exterminar (Cagáñ *et al.*, 2022; Chauhan *et al.*, 2022).

Entre los fumigantes más extensamente utilizados en el almacenamiento de granos a gran escala debido a su gran efectividad de control se encuentra el bromuro de metilo, al que se le atribuye como el mayor deteriorador de la capa de ozono, razón por la que se ha detenido su uso. El fosforo de aluminio también es ampliamente utilizado para control, sin embargo, la resistencia por parte de insectos a este

producto ya representa un problema mundial. Ambos productos son altamente tóxicos en mamíferos significando un riesgo para las personas que se exponen a fumigaciones en espacios cerrados (Mostafiz *et al.*, 2020).

Existen otros fumigantes de origen sintético utilizados a menor escala, como el fluoruro de sulfurilo que es caracterizado por dejar remanentes tóxicos sobre los alimentos almacenados (Jagadeesan, Singarayan y Nayak, 2021). Sin embargo, también se utilizan insecticidas de los grupos de los piretroides como la cipermetrina, además de organofosforados como lo son principalmente el malatión y metil-pirimifos, los cuales son aplicados directamente sobre los productos almacenados (Attia *et al.*, 2020).

2.3.5. Manejo botánico

Actualmente, se buscan maneras de control alternativo que resulten más seguras para el ambiente y la salud humana, entre las que se encuentra el uso de productos botánicos que deben su actividad biológica a compuestos como ácidos grasos, fenoles, alcaloides y terpenos (Hagstrum y Phillips, 2017).

En este sentido, se ha reportado actividad biológica de productos naturales contra *T. molitor*, principalmente aceites esenciales de especies como *Hypericum perforatum* (Malpighiales: Hypericaceae), donde la exposición de larvas, pupas y adultos de *T. molitor* al aceite esencial de esta planta presentaron actividad mortal asociada a cambios en marcadores de estrés oxidativo como el malondialdehído, superóxido dismutasa, catalasa, glutatión-S-transferasa, glutatión peroxidasa, así como de la enzima acetilcolinesterasa. Donde el aceite estaba conformado principalmente por α -pineno, 3-careno y α -cariofileno, pertenecientes al grupo de los terpenoides (Baş y Ersoy, 2020).

De igual manera, el aceite esencial de *Origanum vulgare* (Lamiales: Lamiaceae) han demostrado tener actividad letal contra larvas, pupas y adultos de *T. molitor*, además de disminuir su tasa de respiración y provocar repelencia en larvas y adultos. Siendo estos daños ocasionados por el efecto de sus compuestos mayoritarios en el sistema nervioso del insecto, entre los cuales se encuentran principalmente monoterpenos como carvacrol, p-cimeno y linalool (Plata-Rueda *et al.*, 2021).

Los aceites esenciales de *Allium sativum* (Asparagales: Amaryllidaceae) también han presentado actividad insecticida, repelencia y alteraciones en la movilidad sobre *T. molitor* ocasionada por acción neurotóxica de sulfuros, entre los que se destacan el trisulfuro de dimetilo, disulfuro de dialilo y sulfuro de dialilo como principales componentes del aceite esencial de esta especie (Plata-Rueda *et al.*, 2017).

Martínez *et al.* (2018) han reportado actividad insecticida y repelencia en *T. molitor* por parte de aceites esenciales de *Cinnamomum zeylanicum* (Laurales: Lauraceae) y *Syzygium aromaticum* (Myrtales: Myrtaceae). Donde el aceite esencial de *C. zeylanicum* estuvo compuesto mayormente por eugenol, trans-3-careen-2-ol y benzoato de bencilo. Mientras que el aceite de *S. aromaticum* se componía principalmente de eugenol, cariofileno y óxido de cariofileno. Donde se le atribuye la actividad biológica de ambos aceites esenciales contra *T. molitor* al eugenol, al presentar actividad mortalidad y repelencia de manera individual.

De la misma forma, se ha encontrado actividad insecticida usando aceite extraído de astillas de madera de *Cedrus deodara* (Pinales: Pinaceae), en donde este aceite actuó como inhibidor de la actividad de la enzima acetilcolinesterasa. Además, el aceite de *C. deodara* promovió la actividad de las enzimas transaminasa glutámico-oxalacética y glutamato-piruvato transaminasa que sirven como biomarcadores para detectar ruptura y deterioro celular (Buneri *et al.*, 2023).

2.4. *Salvia connivens*

Salvia connivens es una especie perteneciente al género *Salvia* (véase Cuadro 2) el cual es el más extenso de la familia Lamiaceae, contando con un número aproximado de 1000 especies distribuidas en todo el mundo (González-Gallegos, Vega-Mares y Fernández, 2019).

Cuadro 2. Taxonomía de *S. connivens* (GBIF).

Dominio	Eukarya
Reino	Plantae
Phylum	Tracheophyta
Clase	Magnoliopsida
Orden	Lamiales
Familia	Lamiaceae
Género	<i>Salvia</i>
Especie	<i>S. connivens</i>

Es una planta herbácea, perenne, de porte arbustivo y flores azules (véase Figura 2) que es originaria de México encontrándose ampliamente extendida en el país desde Nuevo León hasta Chiapas. El uso que se le da principalmente a la planta es medicinal, siendo efectiva para tratar enfermedades tales como malaria, fiebre y diarrea, por mencionar algunas (Pérez Gutiérrez *et al.*, 2014; Bautista *et al.*, 2020).



Figura 2. Plantas de *S. connivens* (Flores-Macías *et al.*, 2021)

2.4.1. Fitoquímica

En esta planta se ha reportado la presencia de una variedad de metabolitos secundarios. Pérez-Gutiérrez *et al.* (2014) encontraron mediante pruebas bioquímicas la presencia de alcaloides, terpenoides, lactonas, saponinas, taninos y carbohidratos en extractos metanólicos de partes aéreas de *S. connivens*.

Por otra parte, González-Chávez *et al.* (2017) encontraron en extractos diclorometánicos de partes aéreas de esta planta compuestos triterpénicos tales como los ácidos oleanólico, ursólico y dihidroursólico, así como el flavonoide eupatorina (Véase Figura 3).

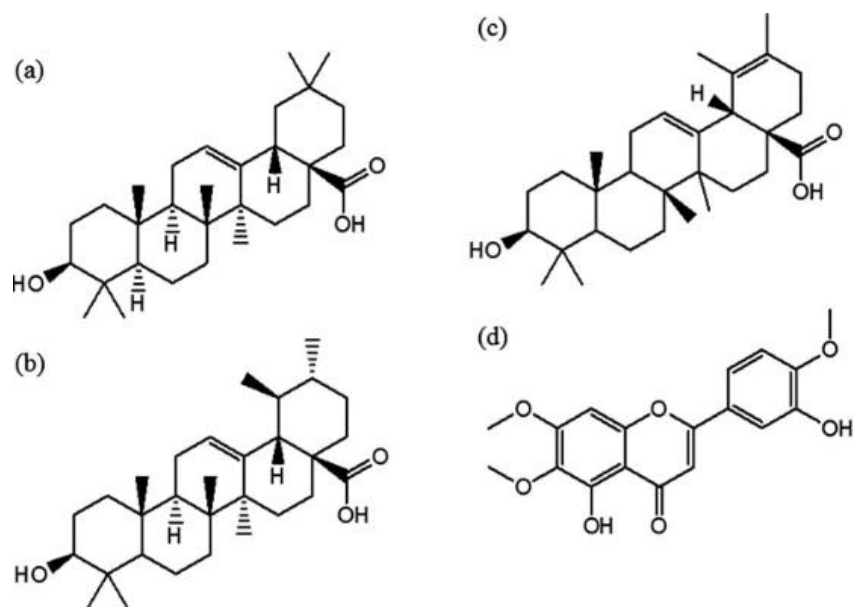


Figura 3. Estructuras moleculares del ácido ursólico (a), ácido oleanólico (b), ácido dihidroursólico (c) y eupatorina (González-Chávez *et al.*, 2017).

De igual manera Bautista *et al.* (2020) reportaron en una fracción de acetato de etilo proveniente del extracto acetónico de hojas de *S. connivens*, la presencia de eupatorina, además de otras flavonas como cirsiolol y nuchensin.

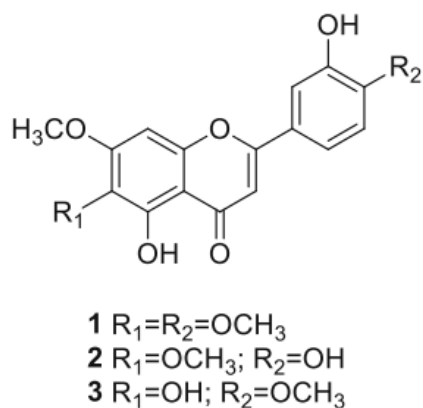


Figura 4. Estructura de flavona y sustituyentes que la constituyen como eupatorina (1), cirsiolol (2) y nuchensin (3) (Bautista *et al.*, 2020).

Asimismo, Flores-Macías *et al.* (2021) han encontrado en el extracto clorofórmico la presencia de compuestos de distintos grupos orgánicos: ácidos carboxílicos, como el ácido 6-*E*-octen-2,4-dinoico; ésteres, tal como el (2*S*)-hidroxiglutarato; compuestos fenólicos, como el 3-hidroxifenilglicol y el pirocatecol; aldehídos, como el glutaraldehído y el nonanal.

2.4.2. Actividad biológica contra insectos

Se ha demostrado que aceites esenciales y extractos de diferentes plantas pertenecientes al género *Salvia* presentan actividad biológica en insectos. Como es el caso del aceite esencial de *Salvia hispanica* sobre *Spodoptera exigua* (Lepidoptera: Noctuidae), el cual sus componentes mayoritarios fueron α -thujona, alcanfor, 1,8-cineol y α -cariofileno, en orden descendente. Donde la α -thujona es el compuesto que presentó mayor letalidad en *S. exigua* y, además la combinación de los cuatro compuestos mayoritarios demostró tener un carácter sinérgico en la mortalidad del insecto (Chen *et al.*, 2021).

La actividad insecticida del aceite esencial de *Salvia sclarea* también ha sido evaluada en *Oxycarenus lavatera* (Hemiptera: Lygaeidae), donde el aceite esencial estaba conformado principalmente por acetato de linalool y linalool, que forman parte de la familia fitoquímica de los monoterpenos (Kačániová *et al.*, 2023).

Geranmayeh y Hashemi (2014) han reportado toxicidad por contacto del aceite esencial de *Salvia leriifolia* en adultos de *Lasioderma serricorne* (Coleoptera: Anobiidae), este aceite estaba conformado mayormente por 1,8-cineol, β -pineno y α -pineno, en orden decreciente. Donde se le adjudica su toxicidad al 1,8-cineol que actúa impidiendo la síntesis de hormonas juveniles, además de ocupar la región hidrofóbica del centro activo de la enzima acetilcolinesterasa, que resulta en su inhibición.

Los extractos clorofórmicos de *Salvia microphylla*, *Salvia keerlii*, *Salvia ballotiflora* y *S. connivens* han demostrado carácter insecticida en larvas de *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). Además, presentaron actividad insectistática al prolongar su duración larval y pupal, así como logró una disminución del peso pupal. Sin embargo, de las cuatro especies evaluadas, *S. connivens* presentó la mayor actividad biológica contra *S. frugiperda* (Zavala-Sánchez *et al.*, 2013).

De igual manera, el extracto clorofórmico de *S. connivens* ha sido evaluado contra larvas de *S. frugiperda*, donde presentó mortalidad larval y pupal, una prolongación de la duración larval y pupal, así como disminución del peso pupal. El extracto estaba conformado mayormente por pirocatecol y nonanal (Véase Figura 5), donde el primero solo exhibió actividad insectistática al prolongar la duración larval. Mientras que, el nonanal presentó una mortalidad larval significativa, que en adición con su incremento de la duración larval y la disminución del peso pupal, se le adjudica a este aldehído la actividad biológica de este extracto (Flores-Macías *et al.*, 2021).



Figura 5. Estructura del nonanal (Flores-Macías *et al.*, 2021)

3. HIPÓTESIS

La presencia de compuestos fenólicos en el extracto metanólico de las hojas de *S. connivens* le confiere mayor actividad insecticida e insectistática contra larvas de *T. molitor*, que el extracto diclorometánico.

4. OBJETIVOS

4.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar la actividad insecticida e insectistática de los extractos orgánicos de hojas de *Salvia connivens* contra *Tenebrio molitor*.

4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar la actividad insecticida e insectistática de los extractos metanólico y diclorometánico de hojas de *Salvia connivens* contra *Tenebrio molitor*.
- Identificar al menos uno de los compuestos más abundantes en el extracto con mayor actividad insecticida y/o insectistática de *S. connivens* mediante HPLC-DAD.
- Evaluar la actividad insecticida e insectistática del compuesto mayoritario del extracto con mayor actividad biológica contra *Tenebrio molitor*.

5. METODOLOGÍA

5.1. Sitio de estudio

Esta investigación se llevó a cabo en el Laboratorio de Compuestos Naturales Insecticidas de la Facultad de Química de la Universidad Autónoma de Querétaro (LCNI-FQ-UAQ).

5.2. Crianza de *Tenebrio molitor*

Los individuos de *T. molitor* utilizados para la evaluación de la actividad insecticida de los extractos orgánicos de *S. connivens* se obtuvieron de una colonia establecida en el LCNI-FQ-UAQ. Las larvas se criaron en cajas de tablero de fibra de densidad media (MDF, por sus siglas en inglés) con dimensiones de 50 cm × 50 cm × 12 cm (Largo × Ancho × Alto) que contenían el sustrato de cría (Véase Cuadro 3) hasta alcanzar la fase pupal. Posteriormente, las pupas se transfirieron a recipientes plásticos de 25 cm × 15 cm × 7 cm hasta la emergencia de los adultos. Los escarabajos se confinaron en cajas plásticas de 25 cm × 20 cm × 10 cm con sustrato de cría, donde realizaron la oviposición. Después de eclosionar, las larvas neonatas resultantes se criaron bajo las mismas condiciones iniciales hasta alcanzar el instar requerido para los tratamientos experimentales. Todo el proceso de cría fue mantenido a una humedad relativa de 40 %, una temperatura de 27 ± 2 °C y un fotoperiodo de 10:14 (luz:oscuridad).

Cuadro 3. Composición de 500 g de sustrato de cría de *T. molitor*.

Componente	Masa (g)
Aserrín	395
Trigo	75
Avena	25
Zanahoria	5

5.3. Material vegetal

Las hojas de *Salvia connivens* se recolectaron de plantas en el municipio de Guadalcázar, San Luis Potosí, México (22°39'50.3" N, 100°24'59.5" W). La colecta de la muestra vegetal se llevó a cabo entre las 9:00 y 10:00 AM (Hora Estándar del Centro) durante su fase de floración. La especie fue autenticada por el Biol. José García-Pérez en el herbario Isidro Palacios de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí bajo el número de registro SLPM 43013. Después, las hojas se trasladaron al LCNI-FQ-UAQ, donde fueron deshidratadas a 47°C durante 72 h en un horno Arsa modelo AR-290 (Zapopan, México) y se pulverizaron en un molino IKA modelo WERKE M20 (Staufen, Alemania).

5.4. Obtención de los extractos orgánicos de *Salvia connivens*

El material vegetal seco y pulverizado fue sometido a extracción por reflujo en una relación de 1:5 (masa:volumen) de material vegetal y solvente. Se realizaron extractos con metanol y diclorometano J.T. Baker® grado técnico (Phillipsburg, Estados Unidos de América) durante 8 h. Después, se eliminaron los solventes de extracción a través de destilación al vacío con un evaporador rotatorio IKA RV10 (Staufen, Alemania) (Flores-Macías *et al.*, 2021).

5.5. Evaluación de la actividad insecticida e insectistática de los extractos orgánicos de partes aéreas de *Salvia connivens* contra *Tenebrio molitor*

Larvas de quinto instar de *T. molitor* fueron seleccionadas de manera aleatoria de acuerdo con los parámetros morfológicos descritos por Park *et al.* (2014). Los extractos orgánicos fueron resuspendidos en agua destilada para la preparación de las dietas artificiales. Los extractos de diclorometano y hexano fueron emulsionados con polivinilpirrolidona (PVP) (Merck®, Naucalpan de Juárez, México) en una

relación de peso de 2:1 (PVP:extracto) (Hernández-Caracheo *et al.*, 2023). Posteriormente, se agregaron alícuotas de la solución de extracto al resto de los ingredientes para preparar 50 mL de dieta artificial (Véase Cuadro 4) por cada concentración evaluada. La mezcla de los componentes de la dieta con los extractos fue agitada hasta la formación de una fase homogénea para ser goteada en una solución de cloruro de calcio (Golden Bell®, Zapopan, México) al 2 % con el objetivo de obtener las capsulas de dieta. Subsecuentemente, las capsulas obtenidas fueron lavadas tres veces con agua destilada y el exceso de agua fue retirado con una toalla absorbente para posteriormente ser almacenadas en refrigeración hasta su uso.

Cuadro 4. Componentes de 50 mL de dieta artificial.

Componente	Cantidad
Zanahoria molida y deshidratada	1.12 g
Trigo molido	1.87 g
Levadura	0.25 g
Ácido ascórbico	0.03 g
Neomicina	0.02 g
Fosfato de potasio	0.07 g
Alginato de sodio	0.30 g
Agua destilada	50 mL

Las concentraciones utilizadas en los bioensayos cubrieron un rango logarítmico de 0.5 a 5000 ppm. De acuerdo con la ventana de actividad biológica determinada de manera preliminar, las concentraciones evaluadas fueron de 500, 1000, 5000, 7000 y 10000 ppm. Además, también se incluyó un control negativo que consistió en dieta artificial sin extracto adicionado.

Para cada concentración de extracto evaluada se utilizaron 20 individuos distribuidos en cuatro replicas. En específico, grupos de cinco larvas fueron confinados en cajas Petri de polipropileno con una porción de dieta artificial de la cual se alimentan *ad libitum*. La dieta se reemplazó cada tercer día hasta alcanzar 30 d. Durante este periodo, se removieron las exuvias y heces producidas por el insecto. El bioensayo se mantuvo a las mismas condiciones de crianza mencionadas anteriormente. Al concluir los 30 d de experimentación, se registró la mortalidad larval, mientras que para evaluar la actividad insectistática se cuantificó el peso del insecto al inicio y cada 10 d hasta alcanzar los 30 d.

Al concluir los bioensayos, los individuos vivos restantes se sometieron a eutanasia mediante inmersión en etanol (Ecopura®, Santiago de Querétaro, México) al 70% por un minuto (Márquez-Luna, 2005). Asimismo, los residuos de las dietas e insectos muertos se deshidrataron y posteriormente fueron triturados para ser convertidos en composta.

5.6. Identificación y cuantificación del compuesto mayoritario presente en el extracto con mayor actividad insecticida e insectistática de *Salvia connivens* sobre *Tenebrio molitor*

Para la identificación y cuantificación del compuesto mayoritario en el extracto metanólico de *S. connivens*, los análisis se realizaron en un cromatógrafo de líquidos de alta resolución (HPLC, por sus siglas en inglés) Waters modelo Alliance (Milford, Estados Unidos de América) equipado con una bomba cuaternaria e2695 y un detector de arreglo de diodos modelo 2998. La obtención y el procesamiento de los datos se realizaron utilizando el software Empower3.

La fase estacionaria consistió en una columna C18 (5 µm, 150 × 4.5 mm). Se realizó una elución con gradiente durante 30 min utilizando una mezcla de agua acidificada

con ácido acético 12.5 mM y acetonitrilo (Véase Cuadro 5) a un flujo de 1 mL min⁻¹. Se inyectaron 10 µL de muestra y la detección se llevó a cabo a una longitud de onda de 328 nm.

Cuadro 5. Gradiente de elución para la determinación del compuesto mayoritario

Tiempo (min)	Ácido acético [12.5 mM]	Acetonitrilo
0	95 %	5 %
2	95 %	5 %
5	85 %	15 %
20	50 %	50 %
25	95 %	5 %
30	95 %	5 %

De acuerdo con un estudio reportado previamente por el equipo de trabajo en donde se analizó la composición fitoquímica del extracto metanólico de *S. ballotiflora*, el ácido rosmarínico constituyó el compuesto más abundante de este extracto (Ventura-Salcedo, 2017). Por lo que se procedió a analizar este mismo compuesto en el extracto metanólico de *S. connivens* esperando encontrar un resultado similar.

Para su cuantificación, se construyó una curva de calibración a partir de soluciones de estándar de ácido rosmarínico (Merck®, 96 %, Naucalpan de Juárez, México) con concentraciones de 25, 50, 100, 125 y 200 µg mL⁻¹.

5.7. Evaluación de la actividad insecticida e insectistática del compuesto mayoritario en el extracto orgánico de mayor actividad biológica

Una vez identificado y cuantificado el ácido rosmarínico en el extracto metanólico de *S. connivens*. De igual manera como se realizó con los extractos, se evaluó de

manera preliminar el compuesto mayoritario con concentraciones logarítmicas en la dieta artificial detallada anteriormente. Posteriormente, se acotaron cinco concentraciones entre el mínimo y máximo de respuesta biológica para evaluar su actividad insecticida e insectistática en 20 larvas por concentración, incluyendo un control negativo. Se evaluó el porcentaje de mortalidad larval, CL_{50} , así como el peso de larva a los 10, 20 y 30 d después del establecimiento del bioensayo.

5.8. Análisis estadístico

Los datos obtenidos de los bioensayos se sometieron un análisis de varianza de un solo factor y una prueba de medias Tukey con un nivel de confianza de 95% para verificar si existe diferencia significativa entre los tratamientos. Además, las concentraciones letales medias (CL_{50}) fueron determinadas mediante un análisis Probit. Los análisis mencionados anteriormente se realizaron con el paquete estadístico Systat 9.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. Rendimientos de los extractos orgánicos de hojas de *Salvia connivens*

Después de someter las hojas de *S. connivens* a extracción a reflujo por ocho horas, se observó un mayor rendimiento al utilizar disolventes polares. En este sentido, se registraron rendimientos de 16.34 % y 6.05 % al utilizar metanol y diclorometano, respectivamente.

Plantas del género *Salvia* ya han sido sometidas a extracción por otros estudios. En particular, Pérez Gutiérrez *et al.* (2014) obtuvieron un rendimiento de 5.7 % de las partes aéreas de la misma planta al utilizar metanol como solvente de extracción. Mientras que Fatma, Ayse y Caglar (2017), registraron un rendimiento de 36.72 % de extracto de hojas de *Salvia officinalis* mediante maceración con metanol.

En lo referente a extractos de mediana polaridad, estudios previos han demostrado que el cloroformo tiene la capacidad de extraer compuestos naturales similares a los que se extraen utilizando diclorometano (Jaber-Vazdekis *et al.*, 2006; Cequier-Sánchez *et al.*, 2008). Siguiendo esto, Flores-Macías *et al.* (2021) utilizaron cloroformo en la extracción de partes aéreas de *S. connivens* y obtuvieron un rendimiento de 5.13 %. Asimismo, Zavala-Sánchez *et al.* (2013) obtuvieron extractos clorofórmicos de cuatro especies de *Salvia*, donde registraron rendimientos de 13.41 %, 9.88 %, 5.03 % y 1.18 % provenientes de las partes aéreas de *S. keerlii*, *S. ballotiflora*, *S. connivens* y *S. microphylla*, respectivamente. Mientras que, González-Chávez *et al.* (2017) observaron un rendimiento de 5.1 % de partes aéreas de *S. connivens* utilizando diclorometano como solvente.

Se pueden observar variaciones mayores en el extracto obtenido con metanol, siendo el resultado obtenido tres veces mayor que el reportado por Pérez-Gutiérrez *et al.* (2014) y cerca de dos veces menor al obtenido por Fatma *et al.* (2017). Mientras que los rendimientos de *S. connivens* obtenidos de los trabajos previos son ligeramente inferiores a lo obtenido en el presente trabajo, aunque bastante

consistentes. Por otro lado, los rendimientos reportados por Zavala-Sánchez *et al.* (2013) son 2.2 y 1.6 veces mayor, así como 5.1 veces menor para los extractos de *S. keerlij*, *S. ballotiflora* y *S. microphylla*, respectivamente. De acuerdo con Shaalan *et al.* (2005), las variaciones en los rendimientos se deben a diferentes composiciones químicas de las especies vegetales, e incluso tratándose de la misma especie, las condiciones geográficas donde se desarrollan estas plantas generan variaciones en la acumulación de compuestos naturales.

6.2. Actividad insecticida del extracto metanólico foliar de *S. connivens* contra *T. molitor*

Durante la exposición de larvas de *T. molitor* a la dieta artificial con el extracto metanólico de hojas de *S. connivens*, se observó en el día siete una mortalidad del total de los individuos que conformaban este tratamiento (Véase Cuadro 6). Por lo que, se utilizaron los datos obtenidos hasta este día para evaluar la actividad insecticida de este extracto y no hubo datos para la evaluación de la actividad insectistática para este extracto.

Las larvas sometidas a la dieta artificial sin la presencia del extracto presentaron una supervivencia total (Véase Cuadro 6). En la concentración de 1000 ppm fue donde se comenzó a presentar una respuesta significativa con respecto al control ($p < 0.05$), provocando una mortalidad de 50 % que se mantuvo constante incluso a 2000 ppm. Asimismo, siguiendo una tendencia de concentración-mortalidad, este extracto presentó una mortalidad de 85 % a 4000 ppm. A la vez, la dieta que contenía 5000 ppm de extracto presentó una mortalidad de 100%. La CL_{50} estimada para este extracto fue de 1856.9 ppm.

Cuadro 6. Actividad insecticida del extracto metanólico de *S. connivens* contra *T. molitor*

Concentración (ppm)	Mortalidad larval (%)
5000	100 ± 0.0 ^A
4000	85 ± 8.19 ^A
2000	50 ± 11.5 ^B
1000	50 ± 11.5 ^B
500	25 ± 9.1 ^{BC}
0	0 ± ND ^C
CL ₅₀	1856.9 ppm (1417.8 – 2296.1 ppm)

Los datos que se muestran son el promedio de 20 mediciones ± error estándar. Literales diferentes implican diferencia significativa ($p < 0.05$). El valor de CL₅₀ se muestra con su intervalo de confianza al 95 %. ND indica “No determinable”.

Poca información en cuanto a extractos de plantas del género *Salvia* ha sido reportada contra plagas de granos almacenados. Sin embargo, Hay otras especies de la familia Lamiaceae que han presentado actividad biológica contra una variedad de insectos que infestan granos almacenados. Marouf, Sangari y Jabbari (2008) probaron el extracto metanólico de *O. vulgare* (Lamiaceae) en larvas de *Tribolium confusum* (Coleoptera: Tenebrionidae) y *Callosobruchus maculatus* (Coleoptera: Chrysomelidae), encontrando valores de CL₅₀ de 2578.1 y 4416.1 ppm a los 3 d de exposición, respectivamente. En este sentido, el extracto metanólico de *S. connivens* es cerca de dos veces más toxico y más de dos veces tóxico que los extractos *O. vulgare* contra larvas de *T. confusum* y *C. maculatus*, respectivamente. De acuerdo con Akbar *et al.* (2022), los insectos de granos almacenados tienden a presentar una mayor respuesta biológica al estar mayor tiempo en contacto con el extracto vegetal, por lo que la diferencia de toxicidad podría ser debida al mayor tiempo de exposición en el presente trabajo. De manera similar, el extracto

metanólico de hojas de *Ocimum canum* (Lamiaceae) provocó una mortalidad de 66.2 % contra adultos de *C. maculatus* a una concentración de 5000 ppm después de 7 d de exposición (Kosini, Nukenine y Tofel, 2015). Por otro lado, también se han probado extractos acuosos contra este tipo de insectos. Khidr y Khalil (2024) observaron que al exponer a *Zabrus tenebrioides* (Coleoptera: Carabidae) al extracto acuoso de *Salvia rosmarinus* (Lamiaceae), este ocasionó una CL₅₀ de 8323.0 ppm a los 8 d. En estos últimos estudios, el valor de CL₅₀ es cercano a dos y cuatro veces mayor que lo obtenido en este trabajo, considerando tiempos de exposición similares. Además, se aprecia que los extractos polares orgánicos son más activos contra este tipo de insectos que los extractos acuosos.

6.3. Actividad insecticida del extracto diclorometánico foliar de *S. connivens* contra *T. molitor*

Después de 30 d de exposición de larvas a la dieta adicionada con el extracto diclorometánico de *S. connivens* se observó una respuesta en relación concentración-mortalidad (Véase Cuadro 7). Aquellas larvas que se alimentaron de la dieta sin extracto diclorometánico adicionado presentaron una supervivencia total los individuos que conformaron el grupo. A partir de la 7000 ppm se comenzó a observar una diferencia significativa de la actividad insecticida con respecto al control ($p < 0.05$) con una mortalidad larval del 45 %. Mientras que, en la máxima concentración evaluada de este extracto, se alcanzó una mortalidad del 50 %. La

concentración estimada de este extracto para provocar la mortalidad de la mitad de la población es de 9367.19 ppm.

Cuadro 7. Actividad insecticida del extracto diclorometánico de *S. connivens* contra *T. molitor*

Concentración (ppm)	Mortalidad larval (%)
10000	50 ± 11.5 ^A
7000	45 ± 11.4 ^{AB}
5000	15 ± 8.2 ^{BC}
1000	10 ± 6.9 ^C
500	10 ± 6.9 ^C
0	0 ± ND ^C
CL ₅₀	9367.2 ppm (7519.2 – 13103.1 ppm)

Los datos que se muestran son el promedio de 20 mediciones ± error estándar. Literales diferentes implican diferencia significativa ($p < 0.05$). El valor de CL₅₀ se muestra con su intervalo de confianza al 95 %. ND indica “No determinable”.

La actividad insecticida de extractos de diclorometano de plantas de la familia Lamiaceae contra plagas de granos almacenados ha sido poco estudiada. En este sentido, Marouf *et al.* (2008) evaluaron la toxicidad del extracto de diclorometano de *O. vulgare* contra *T. confusum* y *C. maculatus* mediante el modo de acción de fumigación. Después de 3 d de exposición, registraron valores de CL₅₀ de 2446.4 y 4000.6 ppm, respectivamente. Estos resultados representan una toxicidad de más del doble a lo obtenido en el presente trabajo. Estas diferencias pueden ser atribuidas a diferentes modos de acción evaluados, dado que en el presente estudio se evaluó la toxicidad del extracto mediante ingestión. Por lo que es posible que, de

manera general el modo de ingestión tome un mayor tiempo para generar un efecto tóxico que el modo de fumigación.

Por otro lado, extractos diclorometánicos de otras especies de la familia Lamiaceae han demostrado diferencia de actividad biológica en insectos de distinto orden. Por ejemplo, Sakr y Roshdy (2015) evaluaron la actividad insecticida de *Hyptis brevipes* contra *Spodoptera littoralis* (Lepidoptera: Noctuidae) por el modo de ingestión. Después de cuatro días en que las larvas se alimentaron con hojas de *Ricinus communis* (Malpighiales: Euphorbiaceae) tratadas con el extracto de *H. brevipes* en un rango de concentraciones de 0 a 50000 ppm, la concentración más alta mostró una mortalidad total resultando en una CL₅₀ de 30000 ppm. Este resultado es cercano a tres veces más alto que lo obtenido en el presente trabajo incluso con un menor tiempo de ingestión. Esto sugiere que esta especie de lepidóptero es potencialmente menos susceptible a extractos diclorometánicos de esta familia vegetal con respecto a la especie estudiada en este trabajo.

6.4. Actividad insectistática del extracto diclorometánico foliar de *S. connivens* contra *T. molitor*

Además de la mortalidad larval, se registró el peso de los individuos de cada concentración en el establecimiento (0 d) y final (30 d) del bioensayo con el objetivo de evaluar la actividad insectistática (Véase Cuadro 8). Al inicio del bioensayo, debido a la selección de los individuos con características similares, no se observó una diferencia significativa en el peso larval entre los distintos grupos. En el día 10, se comenzó a registrar una diferencia significativa ($p < 0.05$) en el peso de las larvas al consumir la dieta artificial con el extracto a partir de una concentración de 500 ppm, exhibiendo una actividad antialimentaria al producir una menor ganancia de peso en las larvas. Sin embargo, se exhibió un comportamiento anormal en la concentración de 1000 ppm al causar un peso 1.9 % mayor al presentado por el grupo control, aunque estadísticamente similar; Sin embargo, este no presentó

diferencia significativa con respecto al control. A partir del día 20, se comenzó a pronunciar la tendencia de menor ganancia de peso larval a medida que se incrementó la concentración del extracto en la dieta. Al concluir el periodo de 30 d se observó el mayor aumento de peso larval en el grupo control con respecto a las que se alimentaron de dieta adicionada con extracto, donde se registró una pérdida de peso larval de 52.63 % a la concentración de 10000 ppm en comparación con el grupo control.

Cuadro 8. Actividad insectistática del extracto diclorometánico de *S. connivens* contra *T. molitor*

Concentración (ppm)	Peso larval (mg)			
	0 d	10 d	20 d	30 d
10000	4.85 ± 0.03 ^A	5.10 ± 0.10 ^C	4.83 ± 0.08 ^D	4.70 ± 0.08 ^C
7000	4.80 ± 0.04 ^A	4.94 ± 0.04 ^C	5.14 ± 0.14 ^D	5.18 ± 0.18 ^C
5000	4.65 ± 0.08 ^A	4.90 ± 0.10 ^C	6.00 ± 0.06 ^C	6.11 ± 0.21 ^C
1000	4.80 ± 0.04 ^A	6.44 ± 0.04 ^A	7.27 ± 0.13 ^B	7.38 ± 0.14 ^B
500	4.65 ± 0.08 ^A	5.40 ± 0.05 ^B	8.16 ± 0.17 ^A	8.83 ± 0.21 ^A
0	4.80 ± 0.05 ^A	6.32 ± 0.16 ^A	8.67 ± 0.28 ^A	9.92 ± 0.53 ^A

Los datos que se muestran son el promedio de los individuos sobrevivientes ± error estándar. Literales diferentes implican diferencia significativa entre columnas ($p < 0.05$).

El efecto antialimentario de extractos diclorometánicos de miembros del género *Salvia* tanto como de la familia Lamiaceae no ha sido reportada contra insectos de granos almacenados o integrantes del orden Coleoptera. Sin embargo, hay trabajos que han estudiado este tipo de actividad insectistática con aceites esenciales de plantas de la familia Lamiaceae. Kostić et al. (2007) evaluaron el efecto fagodisuasorio del aceite esencial de *S. officinalis* en larvas de *Leptinotarsa decemlineata* (Coleoptera: Chrysomelidae) rociando 5000 ppm de aceite esencial

de hojas de *Solanum tuberosum* (Solanales: Solanaceae), donde observaron una reducción de 52.3 % en el daño de hojas tratadas con el aceite esencial en comparación con el control, siendo un resultado demasiado similar al obtenido en el presente trabajo. Por otro lado, Yıldırım, Bekircan y Bektaş (2019) evaluaron el efecto alimentario del aceite esencial de *Mentha longifolia* (Lamiales: Lamiaceae) contra *Subcoccinella vigintiquatuorpunctata* (Coleoptera: Coccinellidae) mediante el consumo de discos de hojas de *Galega officinales* (Fabales: Fabaceae) inmersos en diferentes concentraciones de este aceite esencial. En este sentido, observaron el mayor índice fagodisuasorio (71.88) en la concentración más alta que utilizaron (5000 ppm) a los 3 d de bioensayo. Este resultado es 19.25 % mayor a lo obtenido en el presente trabajo, incluso haciendo uso de menor concentración y un menor tiempo de ingestión.

6.5. Identificación del compuesto mayoritario en el extracto metanólico foliar de *S. connivens*

El tiempo de retención del estándar de ácido rosmarínico fue de 14.6 min, además presentó su máximo de absorción a una longitud de onda de 328 nm (Figura 6).

Mientras que, en el cromatograma del extracto metanólico de *S. connivens* (Figura 7), el ácido rosmarínico presentó la señal más intensa entre todas las constituyentes de la mezcla, indicando que es uno de los compuestos predominantes en el extracto. La concentración de ácido rosmarínico fue de 80.45 mg g⁻¹ de extracto.

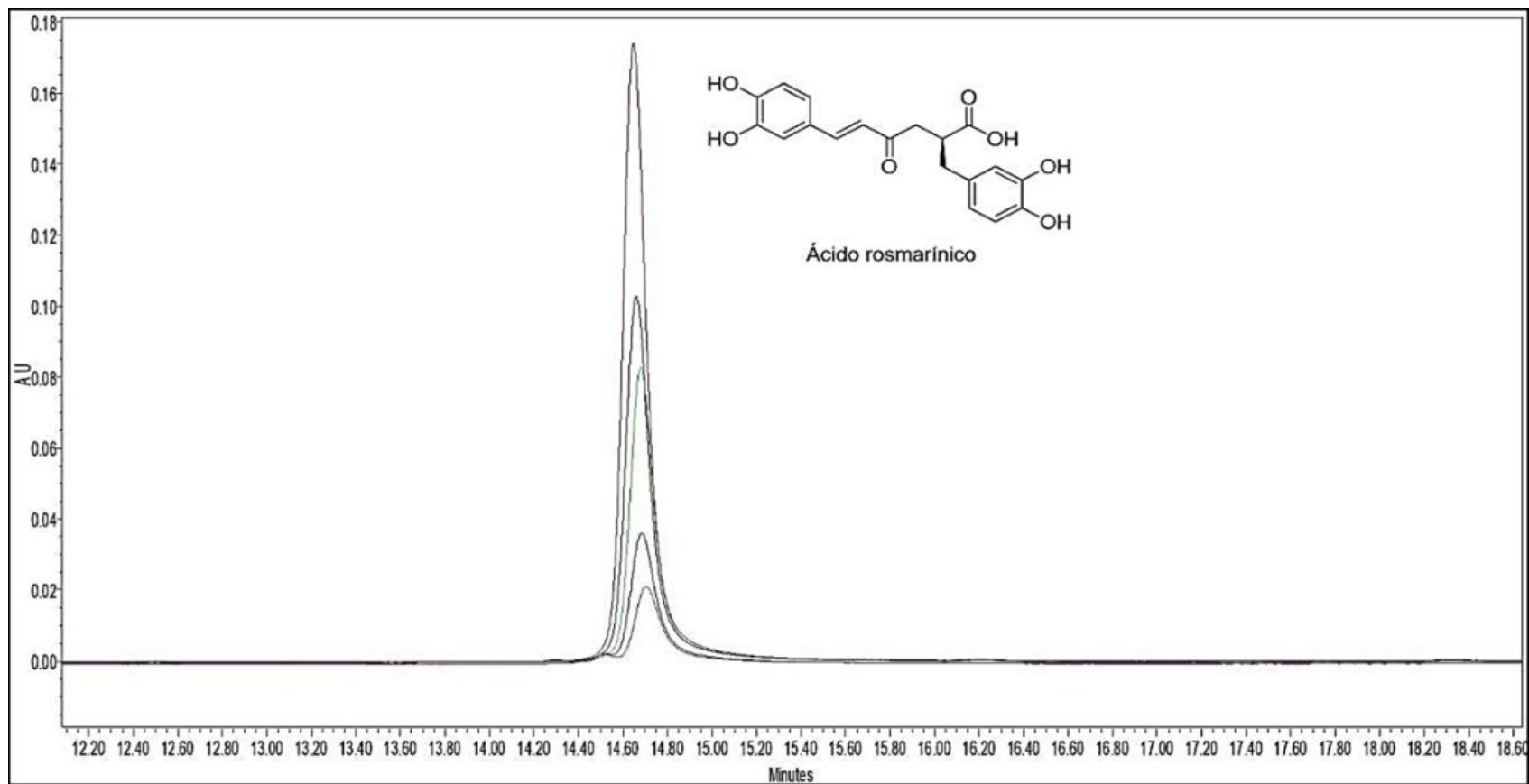


Figura 6. Cromatograma del estándar de ácido rosmarínico mostrando las señales a diferentes concentraciones (25-200 $\mu\text{g mL}^{-1}$)

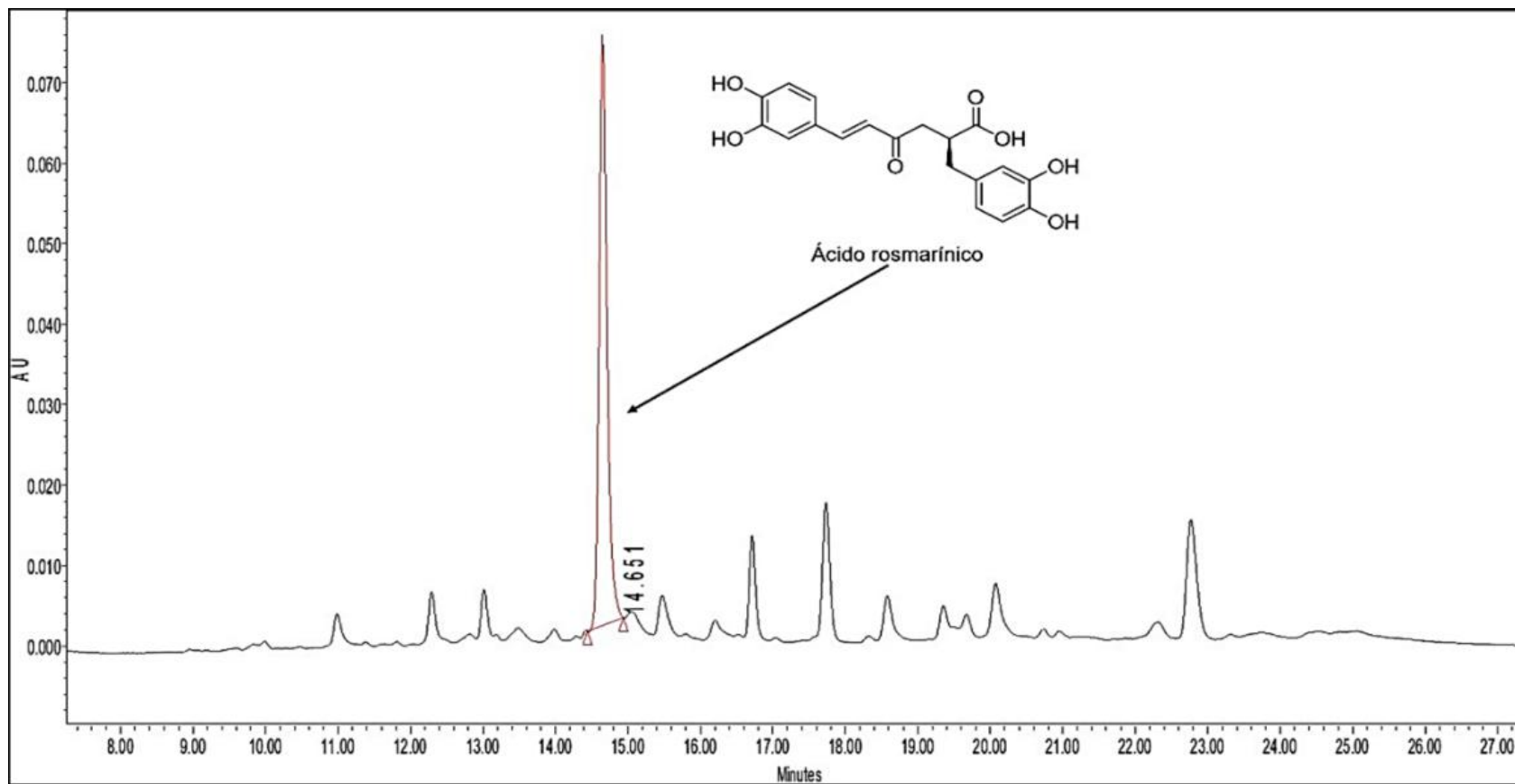


Figura 7. Cromatograma del extracto metanólico de *S. connivens*.

La presencia de ácido rosmarínico en especies del género *Salvia* ya ha sido identificada y cuantificada en trabajos previos. Zengin *et al.* (2018) caracterizaron el perfil de compuestos fenólicos de los extractos metanólicos de *Salvia blepharochlaena*, *Salvia euphratica* y *Salvia verticillate* mediante cromatografía líquida de alta resolución con detección por espectrometría de masas con ionización por electrospray (HPLC-ESI-MS, por sus siglas en inglés). En las tres plantas, el ácido rosmarínico resultó ser el compuesto más abundante con concentraciones de 22, 10.3 y 67 mg g⁻¹, respectivamente. Estos rendimientos obtenidos son alrededor de 4, 8 y 1.2 veces inferiores en comparación con lo cuantificado en el presente trabajo. De manera similar, Al-Jaber, Shakya y Elagbar (2020) realizaron la identificación de compuestos fenólicos de los extractos metanólicos de *Salvia eigii*, *Salvia hierosolymitana* y *Salvia viridis* a través de HPLC-ESI-MS. Las concentraciones que obtuvieron en estas plantas fueron de 15.78, 27.12 y 0.32 mg g⁻¹, respectivamente, que son inferiores a lo observado en *S. connivens*, observando que el ácido rosmarínico es el compuesto más abundante en *S. eigii* y *S. hierosolymitana*. En contraste, Jahani *et al.* (2022) emplearon HPLC-UV para cuantificar ácido rosmarínico en el extracto metanólico de *Salvia limbata*, en el cual reportaron una concentración de 120.28 mg g⁻¹, siendo un 50 % mayor que la exhibida por el extracto metanólico de *S. connivens* en el presente estudio.

De acuerdo con los hallazgos previos, el contenido de ácido rosmarínico varía incluso entre las especies del género *Salvia*. La concentración obtenida en el presente estudio tiene mayor similitud con los reportados en *S. verticillate* y *S. limbata* por Zenghin *et al.* (2018) y Jahani *et al.* (2022), respectivamente.

6.6. Actividad insecticida del ácido rosmarínico contra *T. molitor*

Después de 30 d de exposición de larvas de *T. molitor* a la dieta que contenía ácido rosmarínico, no se observó mortalidad alguna en las concentraciones de 80, 160,

400, 600, así como en el control (Véase Cuadro 9). Sin embargo, en el tratamiento de 1000 ppm se observó una mortalidad del 10 %, aunque esta no presentó una diferencia significativa con respecto al control. La CL₅₀ estimada para este compuesto fue de 5256.3 ppm.

Cuadro 9. Actividad insecticida del ácido rosmarínico contra *T. molitor*

Concentración (ppm)	Mortalidad larval (%)
1000	10 ± 6.9 ^A
600	0 ± ND ^A
400	0 ± ND ^A
160	0 ± ND ^A
80	0 ± ND ^A
0	0 ± ND ^A
CL ₅₀	5256.3 ppm (ND ppm)

Los datos que se muestran son el promedio de 20 mediciones ± error estándar. Literales diferentes implican diferencia significativa ($p < 0.05$). El valor de CL₅₀ se muestra con su intervalo de confianza al 95 %. ND indica “No determinable”.

El potencial insecticida del ácido rosmarínico no ha sido ampliamente estudiado en el manejo de plagas de granos almacenados u otros coleópteros, limitándose la información reportada a un insecto de granos almacenados y varios más de otros órdenes. En este sentido, Mughees *et al.* (2021) evaluaron el efecto de este compuesto contra *R. dominica*, *Batrocera dorsalis* (Diptera: Tephritidae) y *Planococcus citri* (Hemiptera: Pseudococcidae) donde observaron una CL₅₀ de 42.4 y 23.5 ppm para *R. dominica* y *B. dorsalis*, respectivamente. Mientras que, el ácido rosmarínico no mostró toxicidad para *P. citri*. Por otro lado, Khan *et al.* (2019) observaron una CL₅₀ aún menor para *Acrythosiphon pisum* (Hemiptera: Aphididae), reportando un valor de 0.2 ppm.

Adicionalmente, estudios han explorado la actividad insecticida de otros compuestos fenólicos. Por ejemplo, Punia *et al.* (2021) evaluaron el efecto del ácido gálico contra *Spodoptera litura* (Lepidoptera: Noctuidae), donde este compuesto causó una CL₅₀ de 402.8 ppm. De manera similar, Guerra, Cothren y Phillips (1990) estudió la actividad insecticida del ácido *trans*-cinámico, catequina y catecol, donde observaron mortalidades del 28.6, 31.5 y 33.5 %, respectivamente, a la concentración de 200 ppm.

Los hallazgos descritos previamente, muestran que los insectos de diferentes órdenes exhiben variabilidad en la susceptibilidad a este compuesto, pudiendo llegar a ser muy susceptibles o presentando hasta nula toxicidad debido a la selectividad de los mismos compuestos (Horowitz e Ishaaya, 2004). O como se puede observar en los estudios realizados con noctuideos, que requieren de concentraciones más altas de compuestos fenólicos para provocar una respuesta biológica.

Los resultados obtenidos en el presente trabajo muestran una baja susceptibilidad del ácido rosmarínico para *T. molitor*. Este dato resalta la importancia de considerar la selectividad al evaluar la actividad insecticida de compuestos naturales.

6.7. Actividad insectistática del ácido rosmarínico contra *T. molitor*

Además de la baja mortalidad presentada por este compuesto en *T. molitor*, se observó un comportamiento anormal en la ganancia de peso en la fase larval de este insecto, en particular en la concentración de 400 ppm. A los 10 d de establecido el bioensayo, todas las concentraciones a excepción de 400 ppm presentaron similitud estadística con respecto al control. En esta concentración mencionada se pudo notar la mayor ganancia de peso larval, superando al control con un 11.5 % de diferencia con respecto a este. A los 20 días, el grupo control presentó la mayor

ganancia de peso larval, seguido por la concentración de 400 ppm y demás concentraciones, aunque presentó diferencia estadística únicamente con la concentración de 600 ppm. Al concluir el ensayo, el grupo que no contenía ácido rosmarínico en la dieta alcanzó el máximo peso larval, mientras que las concentraciones más altas evaluadas, 160, 600 y 1000 ppm presentaron los pesos larvales más bajos, representando una reducción del 20.42 % de la concentración de 1000 ppm con respecto al control. Sin embargo, se siguió observando este comportamiento anormal en las concentraciones de 80 y 400 ppm.

Cuadro 10. Actividad insectistática del ácido rosmarínico contra *T. molitor*

Concentración (ppm)	Peso larval (mg)			
	0 d	10 d	20 d	30 d
1000	4.50 ± 0.03 ^A	6.44 ± 0.16 ^{ABC}	7.38 ± 0.24 ^{AB}	7.89 ± 0.26 ^B
600	4.65 ± 0.16 ^A	5.95 ± 0.25 ^C	7.15 ± 0.29 ^B	7.70 ± 0.31 ^B
400	4.60 ± 0.09 ^A	7.40 ± 0.16 ^A	8.05 ± 0.21 ^{AB}	8.75 ± 0.19 ^{AB}
160	4.55 ± 0.05 ^A	7.05 ± 0.13 ^{AB}	7.57 ± 0.17 ^{AB}	8.12 ± 0.15 ^B
80	4.45 ± 0.07 ^A	6.50 ± 0.38 ^{ABC}	7.71 ± 0.51 ^{AB}	8.49 ± 0.60 ^{AB}
0	4.55 ± 0.01 ^A	6.32 ± 0.16 ^{BC}	8.67 ± 0.28 ^A	9.92 ± 0.53 ^A

Los datos que se muestran son el promedio de los individuos sobrevivientes ± error estándar. Literales diferentes implican diferencia significativa entre columnas (p<0.05).

A comparación de la actividad insecticida de compuestos fenólicos y en específico, el ácido rosmarínico, muy poca información de la actividad fagodisuasoria ha sido documentada de estos compuestos en insectos. Sin embargo, Simmonds, Stevenson i Hanson (2019) evaluaron el efecto del ácido rosmarínico en la alimentación de larvas de *Manduca sexta* (Lepidoptera: Sphingidae) en un rango de cero hasta 1080 ppm. Observaron que, a la concentración de 1080 ppm este

compuesto causaba un índice de disuasión de 83.0 con respecto al control, mientras que a 360 ppm causaba un índice de disuasión de 89.0, representando un valor mayor siendo solamente un tercio de la concentración máxima utilizada. Estos resultados muestran un comportamiento similar a lo observado en el presente trabajo debido a que, a concentraciones bajas, se puede observar un efecto fagodisuasorio, llegando a una concentración mayor donde este compuesto produce un comportamiento anormal al no seguir una tendencia de disminución de la alimentación o del peso larval.

7. CONCLUSIONES

Los extractos metanólico y diclorometánico de hojas de *S. connivens* presentaron actividad insecticida contra larvas de *T. molitor*. El extracto metanólico presentó la mejor actividad insecticida donde exhibió una CL_{50} de 1857 ppm tras 7 d de exposición mediante la ingestión de la dieta artificial con extracto. Mientras que, el extracto diclorometánico presentó una actividad insecticida cinco veces menos potente (CL_{50} = 9367 ppm) después de 30 d de exposición a través de la misma vía. Sin embargo, este último también exhibió actividad insectistática manifestada en una menor ganancia de peso, la cual representó una pérdida de peso del 52 % a una concentración de 10000 ppm con respecto al control. En lo referente a la composición, el ácido rosmarínico fue el compuesto con mayor abundancia en el extracto metanólico de hojas de *S. connivens*, encontrado a una concentración de 80.45 mg g⁻¹ de extracto. A pesar de ser el componente mayoritario del extracto metanólico, el ácido rosmarínico no mostró actividad insecticida contra larvas de *T. molitor*. Sin embargo, si indujo un efecto antialimentario, que resultó en una pérdida de peso del 20 % a 1000 ppm.

8. PERSPECTIVAS

A pesar de la actividad insecticida observada con los extractos de metanol y diclorometano de hojas de *S. connivens* contra larvas de *T. molitor*, es crucial avanzar en la comprensión de estos efectos, por lo que en futuras investigaciones es necesario elucidar los mecanismos de acción a través de los cuales actúan estos extractos, así como sus compuestos mayoritarios sobre los insectos. Asimismo, también es fundamental evaluar la actividad de estos mismos extractos y compuestos naturales contra un espectro más amplio de insectos plaga con el fin de evaluar su selectividad.

9. REFERENCIAS

- Afriyie, E. *et al.* (2022) 'Determinants of household-level food storage practices and outcomes on food safety and security in Accra, Ghana', *Foods*, 11(20), p. 3266. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/foods11203266>.
- Ak, K. (2019) 'Efficacy of entomopathogenic fungi against the stored-grain pests, *Sitophilus granarius* L. and *S. oryzae* L. (Coleoptera: Curculionidae)', *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 29(1), p. 12. Disponible en: <https://doi.org/10.1186/s41938-019-0115-y>.
- Akbar, R. *et al.* (2022) 'Evaluation of insecticidal potentials of five plant extracts against the stored grain pest, *Callosobruchus maculatus* (Coleoptera: Bruchidae)', *Insects*, 13(11), p. 1047. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/insects13111047>.
- Al-Jaber, H.I., Shakya, A.K. y Elagbar, Z.A. (2020) 'HPLC profiling of selected phenolic acids and flavonoids in *Salvia eigii*, *Salvia hierosolymitana* and *Salvia viridis* growing wild in Jordan and their in vitro antioxidant activity', *PeerJ*, 8, p. e9769. Disponible en: <https://doi.org/10.7717/peerj.9769>.
- Alkan, M. *et al.* (2019) 'Insecticidal efficacy of local diatomaceous earths against adult and larvae of *Tenebrio molitor* L., 1758 (Coleoptera: Tenebrionidae)', *Turkish Journal of Entomology*, 43(3), pp. 347–354. Disponible en: <https://doi.org/10.16970/entoted.550954>.
- Attia, M.A. *et al.* (2020) 'Stored grain pest prevalence and insecticide resistance in Egyptian populations of the red flour beetle *Tribolium castaneum* (Herbst) and the rice weevil *Sitophilus oryzae* (L.)', *Journal of Stored Products Research*, 87, p. 101611. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2020.101611>.
- Awika, J.M. (2011) 'Major cereal grains production and use around the world', in, pp. 1–13. Disponible en: <https://doi.org/10.1021/bk-2011-1089.ch001>.

Baş, H. y Ersoy, D.E. (2020) 'Fumigant toxicity of essential oil of *Hypericum perforatum* L., 1753 (Malpighiales: Hypericaceae) to *Tenebrio molitor* L., 1758 (Coleoptera: Tenebrionidae)', *Turkish Journal of Entomology*, 44(2), pp. 237–248. Disponible en: <https://doi.org/10.16970/entoted.656071>.

Bautista, E. *et al.* (2020) '*Salvia connivens*, a source of bioactive flavones with amoebicidal and giardicidal activity', *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 30(5), pp. 729–732. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s43450-020-00103-8>.

Buneri, I.D. *et al.* (2023) 'Toxicity assessment of *Cedrus deodara* oil compared to carbosulfan for *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae) adults', *Proceedings of the Estonian Academy of Sciences*, 72(2), p. 167. Disponible en: <https://doi.org/10.3176/proc.2023.2.02>.

Cagáň, L. *et al.* (2022) 'Essential oils: Useful tools in storage-pest management', *Plants*, 11(22), p. 3077. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/plants11223077>.

Canteri de Souza, P. *et al.* (2018) 'An invertebrate host to study fungal infections, mycotoxins and antifungal drugs: *Tenebrio molitor*', *Journal of Fungi*, 4(4), p. 125. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/jof4040125>.

Cao, Y. *et al.* (2019) 'Role of modified atmosphere in pest control and mechanism of its effect on insects', *Frontiers in Physiology*, 10, p. 206. Disponible en: <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.00206>.

Cequier-Sánchez, E. *et al.* (2008) 'Dichloromethane as a solvent for lipid extraction and assessment of lipid classes and fatty acids from samples of different natures', *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(12), pp. 4297–4303. Disponible en: <https://doi.org/10.1021/jf073471e>.

Chauhan, N. *et al.* (2022) 'Chemical composition, insecticidal, persistence and detoxification enzyme inhibition activities of essential oil of *Artemisia maritima*

against the pulse beetle', *Molecules*, 27(5), p. 1547. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/molecules27051547>.

Chen, Y. *et al.* (2021) 'Insecticidal activities of *Salvia hispanica* L. essential oil and combinations of their main compounds against the beet armyworm *Spodoptera exigua*', *Industrial Crops and Products*, 162, p. 113271. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113271>.

Cifuentes-Ruiz, P. y Zaragoza-Caballero, S. (2014) 'Biodiversidad de Tenebrionidae (Insecta: Coleoptera) en México', *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85, pp. 325–331. Disponible en: <https://doi.org/10.7550/rmb.31690>.

Codină, G.G. (2022) 'Recent advances in cereals, legumes and oilseeds grain products rheology and quality', *Applied Sciences*, 12(3), p. 1035. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/app12031035>.

Costa, S. *et al.* (2020) 'Evaluation of *Tenebrio molitor* larvae as an alternative food source', *NFS Journal*, 21, pp. 57–64. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.nfs.2020.10.001>.

Eberle, S. *et al.* (2022) 'Effect of temperature and photoperiod on development, survival, and growth rate of mealworms, *Tenebrio molitor*', *Insects*, 13(4), p. 321. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/insects13040321>.

Edoh Ognakossan, K. *et al.* (2016) 'On-farm maize storage systems and rodent postharvest losses in six maize growing agro-ecological zones of Kenya', *Food Security*, 8(6), pp. 1169–1189. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s12571-016-0618-2>.

Edoh Ognakossan, K. *et al.* (2018) 'Quantitative and quality losses caused by rodents in on-farm stored maize: a case study in the low land tropical zone of Kenya', *Food Security*, 10(6), pp. 1525–1537. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s12571-018-0861-9>.

Ezeobiora, I., Kemabonta, K. y Makanjuola, W. (2021) 'Survey of insects and mites associated with stored rice in Nigeria', *Nigerian Annals Of Pure And Applied Sciences*, 4(1), pp. 194–201. Disponible en: <https://doi.org/10.46912/napas.242>.

Fang, L. *et al.* (2020) 'Recent progress in immunosensors for pesticides', *Biosensors and Bioelectronics*, 164, p. 112255. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.bios.2020.112255>.

Fatma, E., Ayse, A. y Caglar, K. (2017) 'Extraction and HPLC analysis of sage (*Salvia officinalis*) Plant', *Natural Products Chemistry & Research*, 5(8), p. 1000298. Disponible en: <https://doi.org/10.4172/2329-6836.1000298>.

Flores-Macías, A. *et al.* (2021) 'Activity of chloroformic extract from *Salvia connivens* (Lamiales: Lamiaceae) and its principal compounds against *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae)', *Applied Sciences*, 11(24), p. 11813. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/app112411813>.

Galon, L. *et al.* (2021) 'Mobility and environmental monitoring of pesticides in the atmosphere — a review', *Environmental Science and Pollution Research*, 28(25), pp. 32236–32255. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11356-021-14258-x>.

GBIF. *Salvia connivens* Epling. Disponible en: <https://www.gbif.org/species/3905173> (Accessed: 11 November 2023).

Geranmayeh, J. y Hashemi, S.M. (2014) 'Contact toxicity of the essential oils from *Salvia leriifolia* Benth (Lamiaceae) against *Lasioderma serricorne* (F.)', *Biharean Biologist*, 8(2), p. 141119.

González-Chávez, M.M. *et al.* (2017) 'Anti-inflammatory activity of standardized dichloromethane extract of *Salvia connivens* on macrophages stimulated by LPS', *Pharmaceutical Biology*, 55(1), pp. 1467–1472. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/13880209.2017.1305423>.

González-Gallegos, J.G., Vega-Mares, J.H. y Fernández, J.A. (2019) '*Salvia reginae* and *S. spellenbergii* (Lamiaceae), two new species from Chihuahua, Mexico', *Willdenowia*, 49(3), p. 319. Disponible en: <https://doi.org/10.3372/wi.49.49303>.

Gourgouta, M., Rumbos, C.I. y Athanassiou, C.G. (2022) 'Impact of diatomaceous earth on adults and larvae of the yellow mealworm, *Tenebrio molitor* L', *Journal of Stored Products Research*, 98, p. 101987. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2022.101987>.

Guerra, D.J., Cothren, T.J. y Phillips, J.R. (1990) 'Influence of selected phenolic compounds on development of bollworm (Lepidoptera: Noctuidae) larvae', *Journal of Economic Entomology*, 83(5), pp. 2115–2118. Disponible en: <https://doi.org/10.1093/jee/83.5.2115>.

Hagstrum, D.W. y Phillips, T.W. (2017) 'Evolution of stored-product entomology: protecting the world food supply', *Annual Review of Entomology*, 62(1), pp. 379–397. Disponible en: <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-031616-035146>.

Hernández-Caracheo, K. *et al.* (2023) 'Evaluation of the insecticidal potential of *Heterotheca inuloides* acetonic and methanolic extracts against *Spodoptera frugiperda* and their ecotoxicological effect on *Poecilia reticulata*', *Plants*, 12(20), p. 3555. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/plants12203555>.

Horowitz, A.R. e Ishaaya, I. (2004) 'Biorational insecticides — Mechanisms, selectivity and importance in pest management', in *Insect Pest Management*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, pp. 1–28. Disponible en: https://doi.org/10.1007/978-3-662-07913-3_1.

Jaber-Vazdekis, N. *et al.* (2006) 'Studies on tropane alkaloid extraction by volatile organic solvents: dichloromethane vs. chloroform', *Phytochemical Analysis*, 17(2), pp. 107–113. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/pca.893>.

Jagadeesan, R., Singarayan, V.T. y Nayak, M.K. (2021) 'A co-fumigation strategy utilizing reduced rates of phosphine (PH₃) and sulfuryl fluoride (SF) to control strongly resistant rusty grain beetle, *Cryptolestes ferrugineus* (Stephens) (Coleoptera: Laemophloeidae)', *Pest Management Science*, 77(9), pp. 4009–4015. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/ps.6424>.

Jahani, R. *et al.* (2022) 'Sedative-hypnotic, anxiolytic and possible side effects of *Salvia limbata* C. A. Mey. Extracts and the effects of phenological stage and altitude on the rosmarinic acid content', *Journal of Ethnopharmacology*, 282, p. 114630. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jep.2021.114630>.

Janković-Tomanić, M. *et al.* (2019) 'Physiological and behavioral effects of the mycotoxin deoxynivalenol in *Tenebrio molitor* larvae', *Journal of Stored Products Research*, 83, pp. 236–242. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2019.07.008>.

Johnson, J.B. (2020) 'An overview of near-infrared spectroscopy (NIRS) for the detection of insect pests in stored grains', *Journal of Stored Products Research*, 86, p. 101558. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2019.101558>.

Kačániová, M. *et al.* (2023) '*Salvia sclarea* essential oil chemical composition and biological activities', *International Journal of Molecular Sciences*, 24(6), p. 5179. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/ijms24065179>.

Kavallieratos, N.G. *et al.* (2021) 'Using multilevel models to explore the impact of abiotic and biotic conditions on the efficacy of pirimiphos-methyl against *Tenebrio molitor* L.', *Environmental Science and Pollution Research*, 28(14), pp. 17200–17207. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11356-020-11925-3>.

Khan, S. *et al.* (2019) 'Bioactivity-guided isolation of rosmarinic acid as the principle bioactive compound from the butanol extract of *Isodon rugosus* against the pea

aphid, *Acyrtosiphon pisum*', *Plos One*, 14(6), p. e0215048. Disponible en: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0215048>.

Khidr, S.K. y Khalil, S.M. (2024) 'Efficacy of six aqueous plant extracts and three commercial entomopathogenic fungi against the corn ground beetle larvae, *Zabrus tenebrioides* under laboratory conditions', *Arab Journal of Plant Protection*, 42(1), p. 120. Disponible en: <https://doi.org/https://doi.org/10.22268/AJPP-001221>.

Kim, J.C. *et al.* (2018) '*Tenebrio molitor*-mediated entomopathogenic fungal library construction for pest management', *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 21(1), pp. 196–204. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.aspen.2017.11.018>.

Kosini, D., Nukenine, E.N. y Tofel, K.H. (2015) 'Efficacy of cameroonian *Ocimum cansum* Sim (Lamiaceae) leaf extract fractions against *Callosobruchus maculatus* (F.) (Coleoptera: Chrysomelidae), infesting Bambara groundnut', *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 3(5), pp. 487–494.

Kostić, M. *et al.* (2007) 'Developmental and feeding alternations in *Leptinotarsa Decemlineata* Say. (Coleoptera: Hrysomelidae) caused by *Salvia Officinalis* L. (Lamiaceae) essential oil', *Biotechnology & Biotechnological Equipment*, 21(4), pp. 426–430. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/13102818.2007.10817488>.

Liu, B. *et al.* (2021) 'Control the entire journey of pesticide application on superhydrophobic plant surface by dynamic covalent trimeric surfactant coacervation', *Advanced Functional Materials*, 31(5), p. 2006606. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/adfm.202006606>.

Mamy, L. *et al.* (2021) 'Assessment of pesticides volatilization potential based on their molecular properties using the TyPol tool', *Journal of Hazardous Materials*, 415, p. 125613. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.125613>.

Marid, T. y Md Jamshed, A. (2021) 'Assessing storage insect pest infestations and faecal dropping of rodent in stored grains from two districts of southwestern

Ethiopia', *Open Journal of Environmental Biology*, 6(1), pp. 035–039. Disponible en: <https://doi.org/10.17352/ojeb.000024>.

Mariod, A.A., Saeed Mirghani, M.E. y Hussein, I. (2017) '*Tenebrio molitor* Mealworm', in *Unconventional Oilseeds and Oil Sources*. Elsevier, pp. 331–336. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809435-8.00050-0>.

Marouf, A., Sangari, S. y Jabbari, L. (2008) 'An investigation on fumigant effect of the extract of *Origanum vulgare* (Lamiales: Lamiaceae) for control of two stored-product beetles', *Journal of Entomological Society of Iran*, 27(2), pp. 29–41. Disponible en: https://jesi.areeo.ac.ir/article_105342.html.

Márquez-Luna, J. (2005) 'Técnicas de colecta y preservación de insectos', *Boletín Sociedad Entomológica Aragonesa*, 37, pp. 385–408.

Martínez, L.C. *et al.* (2018) 'Toxic effects of two essential oils and their constituents on the mealworm beetle, *Tenebrio molitor*', *Bulletin of Entomological Research*, 108(6), pp. 716–725. Disponible en: <https://doi.org/10.1017/S0007485317001262>.

Matumba, L. *et al.* (2021) 'Five keys to prevention and control of mycotoxins in grains: A proposal', *Global Food Security*, 30, p. 100562. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2021.100562>.

Mesterházy, Á., Oláh, J. y Popp, J. (2020) 'Losses in the grain supply chain: Causes and solutions', *Sustainability*, 12(6), p. 2342. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/su12062342>.

Mir, S.A. *et al.* (2021) 'Application of new technologies in decontamination of mycotoxins in cereal grains: Challenges, and perspectives', *Food and Chemical Toxicology*, 148, p. 111976. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.fct.2021.111976>.

Mobolade, A.J. *et al.* (2019) 'Traditional methods of food grains preservation and storage in Nigeria and India', *Annals of Agricultural Sciences*, 64(2), pp. 196–205. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.aoas.2019.12.003>.

Morrison, W.R. *et al.* (2019) 'Methyl benzoate as a putative alternative, environmentally friendly fumigant for the control of stored product insects', *Journal of Economic Entomology*, 112(5), pp. 2458–2468. Disponible en: <https://doi.org/10.1093/jee/toz179>.

Mostafiz, M.M. *et al.* (2020) 'Methyl benzoate is superior to other natural fumigants for controlling the Indian meal moth (*Plodia interpunctella*)', *Insects*, 12(1), p. 23. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/insects12010023>.

Mughees, M. *et al.* (2021) 'Rosmarinic acid as a potential bioactive compound against economically important insect pests', *Fresenius Environmental Bulletin*, 30(12), pp. 13192–13199.

Muhammad, A.S. *et al.* (2023) 'Damage patterns of different birds and rodent species in grain storages in Bahawalpur, Pakistan', *Agricultural Sciences Journal*, 5(2), pp. 28–37. Disponible en: <https://doi.org/10.56520/asj.v5i2.270>.

Nabozhenko, M. V. (2019) 'The fossil record of darkling beetles (Insecta: Coleoptera: Tenebrionidae)', *Geosciences*, 9(12), p. 514. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/geosciences9120514>.

Olugbire, O.O., Olorunfemi, S. y Oke, D.O. (2021) 'Global utilization of cereals: sustainability and environmental issues', *Agro-Science*, 20(1), pp. 9–14. Disponible en: <https://doi.org/10.4314/as.v20i1.2>.

Oppert, B., Martynov, A.G. y Elpidina, E.N. (2012) 'Bacillus thuringiensis Cry3Aa protoxin intoxication of *Tenebrio molitor* induces widespread changes in the expression of serine peptidase transcripts', *Comparative Biochemistry and*

Physiology Part D: Genomics and Proteomics, 7(3), pp. 233–242. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cbd.2012.03.005>.

Park, J. Bin *et al.* (2014) 'Developmental characteristics of *Tenebrio molitor* larvae (Coleoptera: Tenebrionidae) in different instars', *International Journal of Industrial Entomology*, 28(1), pp. 5–9. Disponible en: <https://doi.org/10.7852/ijie.2014.28.1.5>.

Pérez Gutiérrez, S. *et al.* (2014) 'Evaluation of the anti-diarrheal activity of *Salvia connivens*', *Pharmaceutical Biology*, 52(11), pp. 1467–1470. Disponible en: <https://doi.org/10.3109/13880209.2014.898076>.

Plata-Rueda, A. *et al.* (2017) 'Insecticidal activity of garlic essential oil and their constituents against the mealworm beetle, *Tenebrio molitor* Linnaeus (Coleoptera: Tenebrionidae)', *Scientific Reports*, 7(1), p. 46406. Disponible en: <https://doi.org/10.1038/srep46406>.

Plata-Rueda, A. *et al.* (2021) '*Origanum vulgare* wssential oil against *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae): Composition, insecticidal activity, and behavioral response', *Plants*, 10(11), p. 2513. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/plants10112513>.

Punia, A. *et al.* (2021) 'Effect of gallic acid on the larvae of *Spodoptera litura* and its parasitoid *Bracon hebetor*', *Scientific Reports*, 11(1), p. 531. Disponible en: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-80232-1>.

Rho, M.S. y Lee, K.P. (2022) 'Behavioural and physiological regulation of protein and carbohydrates in mealworm larvae: A geometric analysis', *Journal of Insect Physiology*, 136, p. 104329. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jinsphys.2021.104329>.

Rumbos, C.I. y Athanassiou, C.G. (2017) 'Use of entomopathogenic fungi for the control of stored-product insects: can fungi protect durable commodities?', *Journal*

of *Pest Science*, 90(3), pp. 839–854. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10340-017-0849-9>.

Sakr, H. y Roshdy, S. (2015) 'Effect of *Hyptis brevipes* (Lamiaceae) methanol extract on *Spodoptera littoralis* (Lepidoptera: Noctuidae) larvae', *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*, 6(6), pp. 651–658.

Schleiffer, M. y Speiser, B. (2022) 'Presence of pesticides in the environment, transition into organic food, and implications for quality assurance along the European organic food chain – A review', *Environmental Pollution*, 313, p. 120116. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.120116>.

Schoch, C.L. *et al.* (2020) *Taxonomy: a comprehensive update on curation, resources and tools*, NCBI. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/Taxonomy/Browser/wwwtax.cgi?id=7067> (Accessed: 9 March 2024).

Shaalán, E.A.-S. *et al.* (2005) 'A review of botanical phytochemicals with mosquitocidal potential', *Environment International*, 31(8), pp. 1149–1166. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2005.03.003>.

Silva, M.G.C. *et al.* (2018) 'Hermetic storage as an alternative for controlling *Callosobruchus maculatus* (Coleoptera: Chrysomelidae) and preserving the quality of cowpeas', *Journal of Stored Products Research*, 78, pp. 27–31. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2018.05.010>.

Simmonds, M.S.J., Stevenson, P.C. y Hanson, F.E. (2019) 'Rosmarinic acid in *Canna generalis* activates the medial deterrent chemosensory neurone and deters feeding in the tobacco hornworm *Manduca sexta*', *Physiological Entomology*, 44(2), pp. 140–147. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/phen.12284>.

Singh, K.D. *et al.* (2021) 'Main plant volatiles as stored grain pest management approach: A review', *Journal of Agriculture and Food Research*, 4, p. 100127. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2021.100127>.

Solanki, M.K. *et al.* (2021) 'Analysis of stored wheat grain-associated microbiota reveals biocontrol activity among microorganisms against mycotoxigenic fungi.', *Journal of fungi (Basel, Switzerland)*, 7(9). Disponible en: <https://doi.org/10.3390/jof7090781>.

de Sousa, I.G. *et al.* (2023) 'Advances in environmentally friendly techniques and circular economy approaches for insect infestation management in stored rice grains', *Foods*, 12(3), p. 511. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/foods12030511>.

de Souza, R.M. *et al.* (2020) 'Occurrence, impacts and general aspects of pesticides in surface water: A review', *Process Safety and Environmental Protection*, 135, pp. 22–37. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.psep.2019.12.035>.

Tabikha, R.M. (2022) 'Impacts of gamma radiation, as hygiene physical control agent, on population growth of *Tribolium castaneum* (coleoptera: Tenebrionidae) in wheat flour', *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, 15(1), pp. 179–186. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jrras.2022.03.001>.

Taha, H. *et al.* (2019) 'Biological studies on the stored grain mite, *Carpoglyphus lactis* (Linne) (Acari: Astigmata:Carpglyphidae)', *Egyptian Journal of Agricultural Research*, 97(1), pp. 167–177. Disponible en: <https://doi.org/10.21608/ejar.2019.68622>.

Tang, F. *et al.* (2021) 'Risk of pesticide pollution at the global scale', *Nature Geoscience*, 14(4), pp. 206–210. Disponible en: <https://doi.org/10.1038/s41561-021-00712-5>.

Vanderwel, D. *et al.* (2017) 'Clarification of the role of 4-methylnonanol, female-produced sex pheromone of the yellow mealworm beetle, *Tenebrio molitor*

(Coleoptera: Tenebrionidae)', *Journal of Stored Products Research*, 70, pp. 60–64. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2016.12.001>.

Ventura-Salcedo, S. (2017) *Efecto toxicológico de extractos de Salvia connivens y Slvia ballotiflora sobre Poecilla reticula y Danio rerio*. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Querétaro.

Yıldırım, H., Bekircan, Ç. Y Bektaş, E. (2019) 'Antifeedant effects of essential oil of *Mentha longifolia* subsp. *longifolia* L. Hudson (Lamiaceae) on *Subcoccinella vigintiquatuorpunctata* L. (Coleoptera: Coccinellidae)', *Biological Diversity and Conservation*, 12(2), pp. 103–108. Disponible en: <https://doi.org/10.5505/biodicon.2019.27928>.

Zavala-Sánchez, M.A. *et al.* (2013) 'Activity of four *salvia* species against *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae)', *Southwestern Entomologist*, 38(1), pp. 67–73. Disponible en: <https://doi.org/10.3958/059.038.0107>.

Zengin, G. *et al.* (2018) 'Chemical composition and biological activities of extracts from three *Salvia* species: *S. blepharochlaena*, *S. euphratica* var. *leiocalycina*, and *S. verticillata* subsp. *amasiaca*', *Industrial Crops and Products*, 111, pp. 11–21. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.09.065>.

Ziegler, V., Paraginski, R.T. y Ferreira, C.D. (2021) 'Grain storage systems and effects of moisture, temperature and time on grain quality - A review', *Journal of Stored Products Research*, 91, p. 101770. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2021.101770>.

Żołnierczyk, A.K. y Szumny, A. (2021) 'Sensory and chemical characteristic of two insect species: *Tenebrio molitor* and *Zophobas morio* larvae affected by roasting processes', *Molecules*, 26(9), p. 2697. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/molecules26092697>.