



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Química

**EVALUACIÓN DE LA ACTIVIDAD INSECTICIDA E
INSECTISTÁTICA DEL ACEITE ESENCIAL DE *Pelargonium
graveolens* (Geraniaceae) CONTRA *Tenebrio molitor*
(Coleoptera: Tenebrionidae)**

Tesis

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

Presenta

IBT Luis Alberto Montes Flores

Dirigido por

Dr. Miguel Angel Ramos López

Santiago de Querétaro, Querétaro, enero 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
**LGAC 3. Desarrollo de tecnologías botánicas, microbiales e integrales para el
manejo racional de la sanidad en los cultivos**
Identificación de productos naturales con actividad insecticida e insectistática

“EVALUACIÓN DE LA ACTIVIDAD INSECTICIDA E
INSECTISTÁTICA DEL ACEITE ESENCIAL DE *Pelargonium
graveolens* (Geraniaceae) CONTRA *Tenebrio molitor* (Coleoptera:
Tenebrionidae)

Tesis

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

Presenta

IBT Luis Alberto Montes Flores

Dirigido por:

Dr. Miguel Angel Ramos López

Dr. Miguel Angel Ramos López
Presidente

Firma

Dr. Marco Martín González Chávez
Secretario

Firma

Dr. Juan Campos Guillén
Vocal

Firma

Dr. Víctor Pérez Moreno
Suplente

Firma

Dr. José Alberto Rodríguez Morales
Suplente

Firma

Dr. José Santos Cruz
Director de la Facultad

Dr. Manuel Toledano Ayala
Director de Investigación y Posgrado

Centro Universitario, Querétaro, Qro.
Enero, 2025
México

Agradecimientos

A mis hermanos y a mis padres por apoyarme siempre y estar cuando uno los necesita.

Al Dr. Miguel Angel Ramos por permitirme entrar en su equipo de trabajo, por apoyarme y ayudarme en todo momento, por todo el conocimiento que me proporcionó a lo largo de la maestría.

A mis compañeros del Laboratorio de Compuestos Naturales Insecticidas por su apoyo, conocimiento y risas que compartieron conmigo, Galván, Diana, Vane, Manolo, Mike, Sofi y los que me faltan.

A mis compañeros de la MCTA por brindarme su amistad y apoyo durante mi trayecto en la maestría.

A los sinodales por sus aportaciones y su participación.

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología (CONAHCYT) por la beca otorgada para el desarrollo de esta investigación.

Contenido	
ÍNDICE DE TABLAS	iii
ÍNDICE DE CUADROS	iii
ÍNDICE DE FIGURAS	iv
RESUMEN	1
ABSTRACT	2
1. INTRODUCCIÓN	4
2. ANTECEDENTES	6
2.1 Granos almacenados y su importancia	6
2.1.1. Plagas de granos almacenados	6
2.2 <i>Tenebrio molitor</i>	8
2.2.1 Taxonomía	8
2.2.2 Biología	9
2.2.3 Ciclo biológico	9
2.2.4 Métodos de control	11
2.2.5 Insecticidas botánicos	13
2.3 Aceites esenciales	13
2.3.1 Composición química de los aceites esenciales	14
2.3.2 Usos	14
2.3.3 Terpenos	18
2.3.4 Monoterpenos	18
2.3.5 Sesquiterpenos	18
2.3.6 Actividad insecticida de aceites esenciales contra plagas de granos almacenados	21
2.3.7 Actividad insecticida de aceites esenciales contra <i>Tenebrio molitor</i>	21
2.4 <i>Pelargonium graveolens</i>	22
2.4.1 Taxonomía	23
2.4.2 Morfología	24
2.4.3 Importancia económica	24
2.4.4 Composición química del aceite esencial de <i>Pelargonium graveolens</i> .	24
2.4.5 Citronelol	25

2.4.6 Geraniol	26
3. HIPÓTESIS	28
4. OBJETIVOS	29
4.1 General	29
4.2 Específicos	29
5. METODOLOGÍA	30
5.1 Sitio de estudio	30
5.2 Cría de <i>Tenebrio molitor</i>	30
5.3 Obtención de material vegetal	30
5.4 Obtención del aceite esencial de <i>Pelargonium graveolens</i>	31
5.5 Ensayos con el aceite esencial de <i>Pelargonium graveolens</i> contra <i>Tenebrio molitor</i> .	31
5.6 Caracterización de la composición del aceite esencial de <i>Pelargonium graveolens</i> .	34
5.7 Bioensayos de actividad insecticida e insectistática de compuestos contra <i>Tenebrio molitor</i> .	35
5.8 Análisis estadístico	36
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	37
6.1 Obtención de material vegetal	37
6.2 Extracción de aceite esencial	37
6.3 Actividad insecticida del aceite esencial de <i>Pelargonium graveolens</i> contra <i>Tenebrio molitor</i> .	38
6.4 Análisis de la composición química del aceite esencial de <i>Pelargonium graveolens</i> .	41
6.5 Bioensayo con Citronelol contra <i>Tenebrio molitor</i> .	44
6.6 Actividad insectistática e insecticida del Geraniol contra <i>Tenebrio molitor</i> .	46
6.7 Bioensayos con Citronelal contra <i>Tenebrio molitor</i> .	49
8. CONCLUSIONES	51
10. BIBLIOGRAFÍA	52

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ejemplos de plagas que afectan los granos almacenados.	7
Tabla 2. Aceites esenciales con actividad biológica contra plagas de insectos de granos almacenados.	21
Tabla 3. Aceites esenciales con actividad biológica contra <i>Tenebrio molitor</i>	22
Tabla 4. Compuestos mayoritarios de <i>Pelargonium graveolens</i>	25
Tabla 5. Composición de dieta de 500g de sustrato para <i>Tenebrio molitor</i>	30
Tabla 6. Disposición de los tratamientos en bioensayos.	33
Tabla 7. Compuestos identificados en la muestra de aceite esencial de <i>P. graveolens</i>	41

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Resultados del bioensayo del aceite esencial de <i>Pelargonium graveolens</i> contra larvas de <i>Tenebrio molitor</i>	38
Cuadro 2. Resultados del bioensayo del aceite esencial de <i>Pelargonium graveolens</i> contra adultos de <i>Tenebrio molitor</i>	39
Cuadro 3. Actividad del citronelol contra larvas de <i>Tenebrio molitor</i>	44
Cuadro 4. Actividad insecticida del citronelol contra adultos de <i>Tenebrio molitor</i>	45
Cuadro 5. Mortalidad de geraniol contra larvas de <i>Tenebrio molitor</i>	46
Cuadro 6. Variación de peso de larvas en geraniol contra <i>Tenebrio molitor</i>	47
Cuadro 7. Actividad insecticida de geraniol contra adultos de <i>Tenebrio molitor</i>	47
Cuadro 8. Actividad insecticida del citronelal contra larvas de <i>Tenebrio molitor</i>	49
Cuadro 9. Actividad insecticida del citronelal contra adultos de <i>Tenebrio molitor</i>	50

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Uso global de cereales. Adaptado de (OECD, 2022).	6
Figura 2. <i>Tenebrio molitor</i> . Fuente propia.....	8
Figura 3. Ciclo de vida de <i>Tenebrio molitor</i> . Fuente propia.....	9
Figura 4. Distribución mundial de <i>Tenebrio molitor</i> (Naturalist, 2023).....	11
Figura 5. Estructuras de algunos monoterpenos y sesquiterpenos. Fuente propia.....	20
Figura 6. <i>Pelargonium graveolens</i> . Fuente propia.....	23
Figura 7. Estructura química del citronelol. Fuente propia.....	25
Figura 8 Estructura química del geraniol. Fuente propia.....	26
Figura 9. Aceite esencial extraído de 1.602 kg de <i>Pelargonium graveolens</i>	37
Figura 10. Espectro de la muestra de aceite esencial de <i>Pelargonium graveolens</i>	43
Figura 11. Espectro de masas del geraniol a 70 eV.	44

1 **RESUMEN**

2 Los granos almacenados son de gran importancia económica, sin embargo, a pesar del
3 manejo que reciben, los granos, cereales y subproductos son afectados por plagas que
4 incluyen roedores, aves e insectos. *Tenebrio molitor* es un Coleoptero cosmopolita que
5 alcanza a generar pérdidas de hasta el 30 % en granos almacenados. Para su control se
6 utilizan diferentes métodos, siendo los de mayor frecuencia los productos químicos
7 sintéticos. Sin embargo, el uso excesivo y la alta persistencia de estos productos afectan el
8 ambiente. Por esto, la búsqueda por alternativas de control más amigables sigue en curso.
9 En este trabajo se determinó, inicialmente, la actividad insecticida e insectistática del aceite
10 esencial de citronela mediante bioensayos utilizando el método de fumigación al exponer al
11 insecto a diferentes concentraciones del aceite esencial en cajas Petri. En estos ensayos se
12 observó actividad insecticida contra larvas ($CL_{50} = 0.14 \mu\text{L AE } \mu\text{L acetona}^{-1}$) y adultos
13 ($CL_{50} = 0.54 \mu\text{L AE } \mu\text{L acetona}^{-1}$). Posteriormente se determinó la composición química del
14 aceite esencial utilizando un cromatógrafo de gases acoplado a un espectrómetro de masas
15 donde se identificó que el compuesto mayoritario fue el citronelol (48.04 %). Finalmente se
16 determinó la actividad biológica del compuesto mayoritario realizando bioensayos
17 mediante el método de fumigación demostrando que posee actividad insecticida contra
18 larvas ($CL_{50} = 2.96 \mu\text{L CM } \mu\text{L acetona}^{-1}$) y adultos ($CL_{50} = 1.25 \mu\text{L CM } \mu\text{L acetona}^{-1}$). Por
19 lo que el objetivo de este trabajo fue evaluar la actividad insecticida e insectistática del
20 aceite esencial de *Pelargonium graveolens* (Geraniaceae) contra *Tenebrio molitor*
21 (Coleoptera: Tenebrionidae).

22 **Palabras clave:** *Tenebrio molitor*, *Pelargonium graveolens*, actividad biológica, aceite
23 esencial, citronelol.

24

25 **ABSTRACT**

26 Stored grains are of great economic importance, however, despite their handling, grains,
27 cereals, and subproducts are affected by pests that includes rodents, birds and insects.
28 *Tenebrio molitor* is a cosmopolitan Coleoptera which can generate losses of up to 30 % in
29 stored grains. For its control several methods are used, the most common being synthetic
30 chemical products. However, its excessive use and the product's high persistence affect the
31 environment. For this reason, the search for friendlier alternatives is still ongoing. In this
32 work, the insecticidal and insectostatic activity of citronella essential oil was initially
33 determined through bioassays using the fumigation method by exposing the insect to
34 different essential oil concentrations in Petri dishes. In these tests, insecticidal activity
35 against larvae ($LC_{50}= 0.14 \mu\text{L EO } \mu\text{L acetone}^{-1}$) and adults ($LC_{50}= 0.54 \mu\text{L EO } \mu\text{L acetone}$
36 $^{-1}$). Then, the chemical composition of the essential oil was determined using a gas
37 chromatograph coupled to a mass spectrometer in order to identify the major compound
38 citronellol (48.04 %). Finally, the biological activity of the major compound was
39 determined performing bioassays using the fumigation method, demonstrating that it has
40 insecticidal activity against larvae ($LC_{50}= 2.96 \mu\text{L MC } \mu\text{L acetone}^{-1}$) and adults ($LC_{50}=$
41 $1.25 \mu\text{L MC } \mu\text{L acetone}^{-1}$). Therefore, the objective of this work was to evaluate the
42 insecticidal and insectostatic activity of the essential oil of *Pelargonium graveolens*
43 (Geraniaceae) against *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae).

44

45 **Key words:** *Tenebrio molitor*, *Pelargonium graveolens*, biological activity, essential oil,
46 citronellol.

47

48 DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD DE ESTUDIANTE:

49 Declaro que los datos propios obtenidos en esta investigación fueron generados durante el
50 desarrollo de mi trabajo de tesis de forma ética y que reporto detalles necesarios para que
51 los resultados de esta tesis sean reproducibles en eventuales investigaciones futuras.
52 Finalmente, este manuscrito de tesis es un trabajo original en el cual se declaró y dio
53 reconocimiento a cualquier colaboración o cita textual presentadas en el documento.

54

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Juan A.", is centered on the page.

55 1. INTRODUCCIÓN

56 *Tenebrio molitor*, mejor conocido como gusano de la harina, es un Coleóptero originario
57 del continente europeo. Es un insecto plaga cosmopolita que se ha adaptado a vivir
58 alimentándose de harinas, cereales, granos en almacenamiento, y subproductos generando
59 afectaciones en la calidad de los productos y por lo tanto en la economía de los productores
60 y consumidores.

61 Para combatir este insecto se utilizan métodos de prevención que consisten en prácticas de
62 limpieza, sanitización y almacenamiento adecuado, aunque si ya existe una infestación se
63 recurre al uso de métodos de control, principalmente insecticidas químicos sintéticos. Sin
64 embargo, su uso desmedido y alta persistencia tienen efectos nocivos sobre el ambiente,
65 otros organismos y la salud. Por esta razón se deben buscar alternativas que sustituyan o
66 disminuyan los efectos negativos de los insecticidas sintéticos como es el uso de
67 insecticidas botánicos hechos con polvos, extractos, y aceites esenciales.

68 Los aceites esenciales son una mezcla compleja de compuestos, usados ampliamente en
69 varias áreas como aromaterapia, cosmética, perfumería y control botánico. Estos productos
70 llegan a tener más de 200 compuestos presentes en distintas concentraciones siendo los
71 compuestos de mayor concentración los posibles responsables de sus propiedades
72 biológicas. Los componentes mayoritarios están organizados en dos grupos, el primero,
73 constituido por terpenos y terpenoides, y el segundo por componentes aromáticos y
74 alifáticos. Entre las propiedades que pueden presentar destacan la defensa de las plantas
75 contra insectos mostrando actividades insecticidas e insectistáticas. Estos productos al ser
76 de origen botánico son considerados seguros y amigables con el ambiente debido a su baja
77 persistencia, baja toxicidad hacia mamíferos y su origen natural. Algunas de las plantas que
78 destacan por su producción de aceites esenciales pertenecen a las familias Lamiaceae,
79 Asteraceae, Myrtaceae, Poaceae, Rutaceae, Geraniaceae, entre otras.

80 En este sentido, *Pelargonium graveolens* (Geraniaceae) es una planta originaria de
81 Sudáfrica. Esta planta aromática es cultivada alrededor del mundo para aprovechar su
82 aceite esencial principalmente dentro de la industria de perfumería, cosmética, y

83 aromaterapia. Se han realizado estudios previos sobre la composición química de su aceite
84 esencial donde se identificaron terpenos que presentan actividad repelente e insecticida ya
85 descrita contra otros organismos.

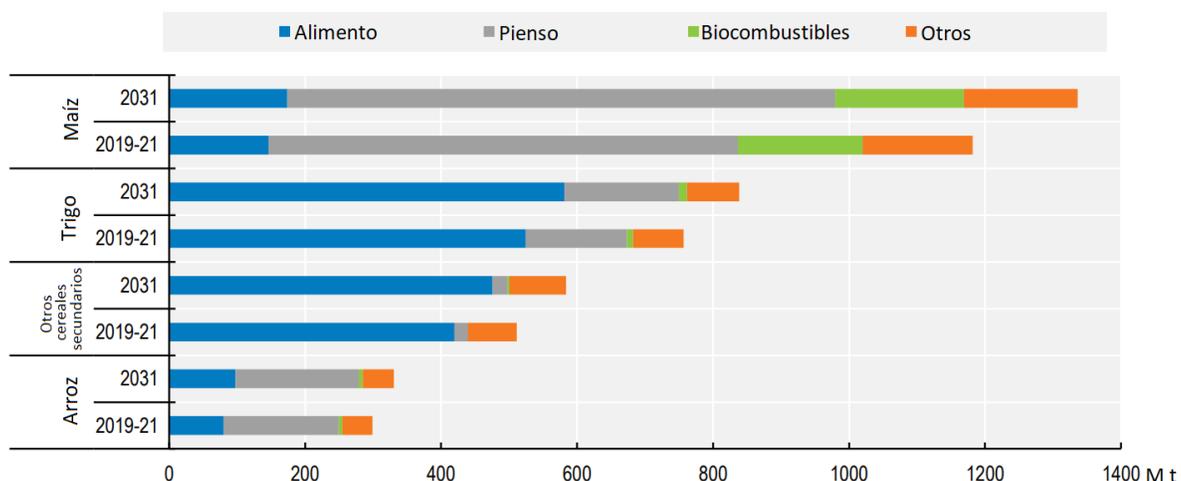
86 Por esto, este estudio busca evaluar la actividad insecticida e insectistática del aceite
87 esencial y el componente mayoritario de *P. graveolens* contra *T. molitor* como posible
88 candidato alternativo a insecticidas convencionales.

89

90 2. ANTECEDENTES

91 2.1 Granos almacenados y su importancia

92 Los cereales tienen una gran importancia dentro de la alimentación ya que son responsables
93 directa o indirectamente de la mayoría de los alimentos que son ingeridos por la
94 humanidad. El arroz, el trigo y el maíz son conocidos como los tres grandes cereales no
95 solo por tener una función importante como alimentos básicos (Wrigley et al., 2015), sino
96 por los distintos usos que se les da a nivel global entre los que destacan el pienso para
97 animales, producción de combustibles, uso industrial, entre otros productos como se
98 muestra en la Figura 1 (OECD, 2022; Rosentrater, 2022).



99 **Figura 1.** Uso global de cereales. Adaptado de (OECD, 2022).

100 En el periodo 2017-2019 se registró una producción mundial anual de 1,137 millones de
101 toneladas (M t) de maíz, 757 M t de trigo y 757 M t de arroz (Erenstein et al., 2022),
102 mientras que a nivel nacional su producción fue de 27.1 M t de maíz, 2.9 M t de trigo y 0.2
103 M t de arroz en 2018 (CEDRSSA, 2020). Desafortunadamente las malas prácticas de
104 almacenamiento pueden llevar a pérdidas económicas. Además de éstas, la calidad de los
105 cereales también se ve afectada por eventos climáticos y plagas siendo esta última la de
106 mayor amenaza (Mobolade et al., 2019; K. D. Singh et al., 2021).

107 2.1.1. Plagas de granos almacenados

108 A pesar de la protección que se brinda a los granos para su preservación, durante el
 109 almacenamiento de estos, pueden ser afectados por una variedad de plagas conformadas por
 110 insectos, roedores e incluso aves, algunos ejemplos son presentados en la tabla 1. De estos,
 111 la mayor amenaza es representada por los insectos generando perdidas que promedian
 112 desde el 5 % en países desarrollados hasta el 30% en países en vías de desarrollo (K. D.
 113 Singh et al., 2021; Vázquez-Badillo & Moreno-Martínez, 2016).

114 **Tabla 1.** Ejemplos de plagas que afectan los granos almacenados.

	Plagas	Ejemplos	Nombre común
Insectos	Se estima que alrededor de 250 especies son responsables de los daños hacia granos y productos almacenados, pero solo 20 son de importancia generando pérdidas del 5 al 30% (Ramayo-Ramírez, 2016).	<i>Tribolium castaneum</i>	Escarabajo castaño de la harina
		<i>Tenebrio molitor</i>	Escarabajo de la harina, guano de la harina
Roedores	Los roedores generan daños y pérdidas económicas que varían de lugar en lugar. Sumado a esto, generan contaminación en los granos y cereales al defecar, orinar y dejar otros desperdicios sobre los mismos transmitiendo virus y bacterias (Rosentrater, 2022).	<i>Mus musculus</i>	Ratón doméstico, ratón casero o ratón común.
		<i>Rattus norvegicus</i>	Rata parda, rata de alcantarilla o rata gris
Aves	Las aves muchas veces tienen acceso a los granos y cereales almacenados y se alimentan de estos generando pérdidas. Además, frecuentemente construyen sus nidos en las estructuras de almacenamiento defecando sobre la materia prima afectando la condición sanitaria (Rosentrater, 2022).	<i>Passer domesticus</i>	Gorrión común
		<i>Columba livia</i>	Paloma asiática, paloma doméstica

115

116 **2.2 *Tenebrio molitor***

117 Nombre común: Escarabajo de la harina o gusano de la harina



118

119

Figura 2. *Tenebrio molitor*. Fuente propia

120 **2.2.1 Taxonomía**

121 **Dominio:** Eukarya

122 **Reino:** Animalia

123 **Filo:** Arthropoda

124 **Clase:** Insecta

125 **Orden:** Coleoptera

126 **Familia:** Tenebrionidae

127 **Genero:** *Tenebrio*

128 **Especie:** *T. molitor*

129

Tomado de (ITIS, 2023)

130

131 *Tenebrio molitor* es un insecto originario del continente europeo, sin embargo, se ha

132 convertido en una plaga cosmopolita debido a su distribución mundial (Moruzzo et al.,

133 2021).

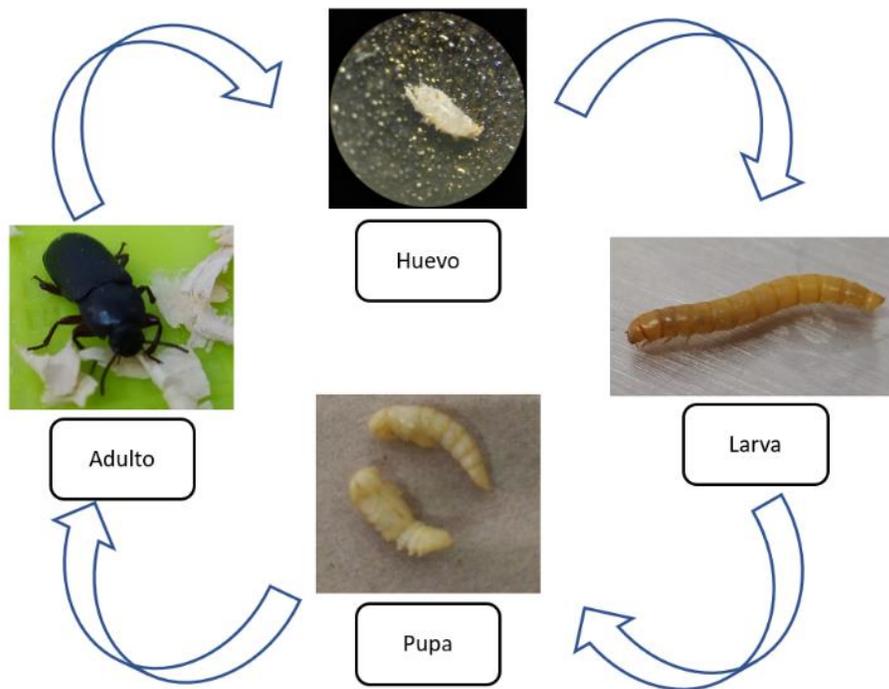
134 **2.2.2 Biología**

135 Este insecto es activo a todas horas, aunque tiene preferencia por ambientes oscuros. Su
136 alimentación consiste de granos, cereales y productos derivados por lo que se ha
137 considerado como plaga secundaria por esto, es común encontrarlo en molinos de harina,
138 silos, tiendas de alimentos (Kavallieratos et al., 2021).

139 **2.2.3 Ciclo biológico**

140 *Tenebrio molitor* es un insecto holometábolo, es decir, que su ciclo biológico consiste de
141 una metamorfosis completa: huevo, larva, pupa y adulto (Figura 3). El tiempo de desarrollo
142 entre cada etapa está influenciado por diversos factores naturales principalmente la
143 temperatura y humedad (Díaz et al., 2021). La duración de su ciclo puede variar
144 dependiendo de las condiciones y durar desde los 2 meses hasta los 2 años (Rosentrater,
145 2022).

146



147

148

Figura 3. Ciclo de vida de *Tenebrio molitor*. Fuente propia.

149 **Huevo**

150 Los huevos son de color blanco brillante con forma ovalada y un tamaño alrededor de los
151 1.7 mm de largo (Díaz et al., 2021). Están cubiertos por una sustancia pegajosa con la que
152 se adhieren a superficies y son depositados individualmente o en grupos (Cotton, 1929). El
153 tiempo que tarda en eclosionar un huevo puede variar desde 4 hasta 34 d y su viabilidad es
154 afectada por la edad de los progenitores, temperatura y humedad (Selaledi et al., 2020).

155 **Larva**

156 Al eclosionar el huevo, las larvas salen con un tamaño cercano a 1.5 mm con una
157 coloración blanca, este color con el tiempo se va tornando a un tono amarillo-café llegando
158 a alcanzar los 25 mm de longitud (Rosentrater, 2022). Durante esta fase su alimentación
159 consiste de granos, cereales, harinas, etc., aunque en condiciones controladas se les llega a
160 alimentar con vegetales frescos como zanahoria, papa y lechuga (Cotton, 1929). Como
161 larva pasa por una gran cantidad de instares llegando a tener desde 9 hasta 18 instares
162 (Cotton, 1940; Díaz et al., 2021) donde, además de las variaciones de tamaño, no presentan
163 cambios morfológicos significativos entre cada uno (Park et al., 2014). Una vez que la larva
164 está lista, comienza con su proceso para convertirse en pupa con un periodo de inactividad
165 en la que se enrosca en forma de “C” y se convierte en pupa (Selaledi et al., 2020).

166 **Pupa**

167 En un principio, la pupa presenta una coloración blanca y al igual que las larvas se torna
168 amarillo-café con el tiempo (Cotton, 1929). Durante esta etapa no hay presencia de boca o
169 ano lo que hace imposible la ingesta de comida (Selaledi et al., 2020), además también
170 carecen de movilidad por lo que son fácilmente depredadas y en casos extremos son
171 víctimas del canibalismo (Díaz et al., 2021). La etapa de pupa termina con un proceso de
172 donde emerge un escarabajo adulto. Este proceso se caracteriza por una serie de pasos que
173 se llevan a cabo en un total de 30 min aproximadamente y culmina con la emergencia de un
174 adulto (Howard, 1955).

191 Químicos

192 La fumigación de acuerdo con la FAO es la aplicación de un producto químico que puede
193 existir como un gas en concentración suficiente para ser letal para un organismo plaga
194 (FAO & Hilario, 1992). Los fumigantes son capaces de difundirse y penetrar materiales,
195 equipos y estructuras del edificio siendo efectivos en todas las etapas de desarrollo
196 (Hagstrum & Subramabyam, 2013).

197 Algunos de los químicos más efectivos son el disulfuro de carbono, mezcla de dicloruro de
198 etileno-tetracloruro de carbono (Cotton, 1929), bromuro de metilo y fosfina (Plata-Rueda
199 et al., 2017).

200 Biológicos

201 Este método de control consiste en el aprovechamiento de los mecanismos naturales como
202 la depredación, parasitismo, parasitoidismo entre otros, de esta manera el uso de un
203 organismo considerado enemigo natural puede controlar otro organismo plaga (Stenberg
204 et al., 2021). También se incluye el uso de feromonas, la liberación de organismos estériles
205 y el uso de plaguicidas biológicos los cuales son formulados con organismos o productos
206 de organismos (Baker et al., 2020).

207 Algunos enemigos naturales de *T. molitor*, son *Nidicola marginata* (Hemiptera:
208 Anthocoridae) y *Venturia canescens* (Hymenoptera: Ichneuminidae) (Hagstrum &
209 Subramabyam, 2013).

210 • Botánicos

211 Se refiere al uso de productos derivados de plantas como son polvos, extractos y
212 aceites esenciales. Estos productos afectan al insecto de distintas formas ya que pueden
213 tener desde actividad repelente hasta actividad insecticida (Hikal et al., 2017).

214 En este sentido se han probado una variedad de extractos botánicos y aceites esenciales
215 para el control de *T. molitor* entre los cuales se puede mencionar el aceite esencial de
216 ajo (*Allium sativum*), de oregano (*Origanum vulgare*), de limón (*Citrus limonum*) o
217 extractos de papa (*Solanum tuberosum*) y jitomate (*Lycopersicon esculentum*)
218 (Adamski et al., 2016; Plata-Rueda et al., 2017, 2021; X. Wang et al., 2015)

219 El método de control más utilizado para el control de esta plaga es el uso de insecticidas
220 químicos sintéticos, sin embargo, este método tiene restricciones contra insectos de
221 productos almacenados debido a la toxicidad residual y a la resistencia desarrollada (Plata-
222 Rueda et al., 2017).

223 **2.2.5 Insecticidas botánicos**

224 Se consideran insecticidas botánicos a todos aquellos productos que sean derivados de
225 plantas y que tengan el potencial de repeler, inhibir el desarrollo o eliminar insectos plagas.
226 Estos productos pueden ser obtenidos de extractos de algunas de sus partes vegetativas, de
227 aceites esenciales o una combinación de estos (Ahmed et al., 2021). Dentro de los
228 productos naturales con actividad insecticida se encuentran los terpenos, alcaloides,
229 flavonoides, glucósidos, esteroides y ácidos grasos, los cuales pueden tener un efecto diferente
230 sobre la plaga (Hikal et al., 2017). La importancia de estos productos se debe a que son
231 efectivos, reducen el riesgo de generar resistencia, cuida la preservación de organismos no
232 blanco, son biodegradables y puede haber disponibilidad de la materia prima (Essiedu et al.,
233 2020). Además, la demanda creciente en alternativas al uso de químicos sintéticos para el
234 control de plagas ha generado un interés en el estudio de métodos más naturales como los
235 insecticidas botánicos (Abdel-Tawab, 2016).

236 **2.3 Aceites esenciales**

237 Los aceites esenciales son una mezcla de metabolitos secundarios producidos por las
238 plantas que se caracterizan por poseer fuertes fragancias debido a la presencia de
239 compuestos aromáticos como terpenos (Bakkali et al., 2008). Son insolubles en agua y
240 solubles en solventes orgánicos además de ser muy volátiles y poseer un característico olor.
241 Para extraerlos se utilizan métodos como la maceración, extracción con solventes,
242 destilación con vapor, extracción con CO₂ supercrítico, por mencionar algunas, siendo una
243 de las más comunes, la extracción por hidrodestilación (Abdel-Tawab, 2016). Son usados
244 principalmente dentro de la industria de perfumería, aromaterapia y cosmética, además de
245 ser incorporados en productos de limpieza por su aroma y para la preservación de alimentos
246 (Hanif et al., 2019; Jugreet et al., 2020).

247 **2.3.1 Composición química de los aceites esenciales**

248 Los aceites esenciales son una mezcla compleja que contiene más de 200 compuestos. Esta
249 mezcla se puede organizar en dos fracciones: la fracción volátil (90-95% del peso total)
250 donde se engloban principalmente terpenos (monoterpenos, sesquiterpenos, y sus derivados
251 oxigenados), mientras que la fracción no volátil (1-10% del, peso total) contiene ácidos
252 grasos, ceras, flavonoides, carotenoides, hidrocarburos, entre otros (Hanif et al., 2019). De
253 esta mezcla de compuestos siempre hay dos o tres componentes cuya concentración destaca
254 comparada con los demás. Estos compuestos mayoritarios pueden ser los responsables de
255 determinar las propiedades biológicas del aceite (Bakkali et al., 2008).

256 **2.3.2 Usos**

257 Los primeros registros del uso de aceites esenciales datan desde el siglo IX donde se
258 describen los procesos utilizados para su extracción y comercio entre Europa y Asia menor
259 como sustancias cosméticas y terapéuticas, que con el paso del tiempo y el desarrollo
260 tecnológico, ha transformado su uso en la medicina folklórica, hasta la reproducción de sus
261 componentes activos para su uso en varias industrias como la cosmética, perfumería,
262 farmacología, veterinaria y en el área agrícola (Hanif et al., 2019; Irshad et al., 2019).

263 Los aceites esenciales además de ser aromáticos, poseen diferentes actividades biológicas,
264 es decir, que presentan efectos benéficos o perjudiciales a diferentes organismos como
265 resultado de una exposición a ellos (Mariod & Tahir, 2022). Algunos efectos que pueden
266 poseer los aceites esenciales son:

- 267 • **Actividad antibacterial:**

268 Son las sustancias capaces de destruir o impedir el desarrollo de las bacterias
269 además de su capacidad de ser patógeno (NCI, 2024). Esta capacidad ha sido
270 asociada a modificaciones que se generan en la célula tales como la reducción en el
271 potencial de membrana, interrupción en la bomba de protones o el agotamiento de
272 ATP (Jugreet et al., 2020).

273

- 274 • Actividad antioxidante:
275 Sustancias protectoras de las células contra los daños generados por los radicales
276 libres y especies reactivas de oxígeno que fueron generados durante algún proceso
277 de oxidación (NCI, 2024). Estas sustancias se utilizan para prevenir y tratar
278 enfermedades relacionadas al estrés oxidativo como algunas enfermedades del
279 corazón, decaimiento del sistema inmune, cáncer, entre otras (Jugreet et al., 2020).
- 280 • Actividad antiinflamatoria:
281 Sustancias con propiedades para reducir la inflamación y algunas enfermedades
282 relacionadas como artritis o reumatismo (NCI, 2024). Los compuestos activos
283 antiinflamatorios de los aceites esenciales inhiben la liberación de histamina o
284 funcionan como reductores de la producción de mediadores de inflamación (Hanif
285 et al., 2019).
- 286 • Actividad quimioprotectora:
287 Se les denomina así a las sustancias que ayudan en la protección del tejido sano
288 contra algunos de los efectos secundarios causados por medicamentos utilizados
289 contra cáncer (NCI, 2024). Los aceites esenciales contienen productos anticáncer
290 que ayudan en la prevención y durante la recuperación (Hanif et al., 2019).
- 291 • Actividad antiviral:
292 Sustancias que poseen propiedades que impiden el desarrollo de virus. Son capaces
293 de interrumpir o inhibir su replicación o detener su propagación entre células. Esta
294 actividad se ha probado contra algunos como el virus Herpes simplex tipo 1 y tipo
295 2, el virus de la influenza A3, virus del dengue tipo 2, entre otros (Buchbauer,
296 2009).
- 297 • Actividad contra insectos:

298 Repelencia: una sustancia repelente es definida como aquella que disuade de
299 aterrizar o morder la piel humana esto con un propósito de protección. La presencia
300 de ciertos compuestos como terpenos, sesquiterpenos y alcoholes les atribuyen la
301 propiedad repelente a los aceites esenciales (Lee, 2018).

302 Disuasoria: Una sustancia disuasoria de alimentación reduce la ingestión de
303 alimento del insecto al actuar sobre quimiorreceptores gustativos periféricos y
304 centrales. Por otro lado, también hay sustancias que disuaden la oviposición de los
305 insectos. Algunas de las sustancias que pueden conferir esta propiedad pertenecen a
306 los alcaloides, compuestos fenólicos, y terpenoides (Akhtar et al., 2012).

307 También hay sustancias que pueden reducir o interrumpir el crecimiento del insecto
308 en diferentes etapas de su ciclo de vida, conocidas como inhibidoras del crecimiento
309 (Regnault-Roger et al., 2012).

310 Insecticida: las sustancias que tiene son usadas con el fin de prevenir controlar,
311 reducir o eliminar algún insecto no deseado, incluyendo larvas y huevos (Araújo
312 et al., 2023).

313
314 El uso de aceites esenciales en la industria se ha ido incrementado con el tiempo, tan solo
315 en el 2022 el consumo mundial fue de 497, 959 t y se espera un crecimiento anual
316 compuesto del 7.7 % para el 2032 (Persistence, 2024).

317 En la industria de la perfumería se clasifican los aceites esenciales de acuerdo a su
318 volatilidad y a su tasa de difusión en el aire. Se clasifican en: notas base (aceites esenciales
319 menos volátiles) que duran un largo periodo de tiempo, las notas medias (aceites esenciales
320 con duraciones de hasta una hora), con notas picantes y florales, finalmente las notas altas
321 (aceites esenciales más volátiles) que duran hasta por 10 min. Los aceites esenciales son
322 utilizados principalmente en perfumes de tipo Eau los cuales utilizan la mayor parte dentro
323 de su formulación (Irshad et al., 2019). En esta se incluyen diferentes concentraciones de
324 aceite esencial. En Aguas de Baño las concentraciones de aceite esencial varían entre el 4-8
325 %, en Agua de perfume va de 8-15%, en agua de colonia entre 3-5 % y finalmente colonia
326 de salpicadura de 1-3 % (Jugreet et al., 2021).

327 En la veterinaria los aceites esenciales son utilizados como agentes plaguicidas y se usan
328 como alternativa al uso de antibióticos. Su clasificación de uso depende del efecto que
329 tenga sobre los animales, por ejemplo, atracción o repelencia de animales, efectos
330 insecticidas y acaricidas, uso en el alimento o uso en tratamiento de enfermedades.
331 Además, el uso de aceites esenciales en la comida de los animales trae consigo otros
332 beneficios al tener actividad antioxidante y antimicrobiana (Hanif et al., 2019).

333 Los aceites esenciales tienen un papel importante en la medicina alternativa, por ejemplo,
334 en la aromaterapia es una es un tratamiento complementario que los utiliza como
335 herramientas para la terapia de algún paciente (Thangaleela et al., 2022). La aromaterapia
336 consiste en la inhalación de aceites en pequeñas concentraciones, en la aplicación de
337 diluciones mediante masajes o en forma de baños. Ayudan principalmente para la cura
338 heridas y relajación, además, de ser utilizados para aliviar migrañas, náuseas, indigestión,
339 dolores musculares, insomnio, depresión entre otros malestares (Hanif et al., 2019; Irshad
340 et al., 2019).

341 Además, debido a la amplia gama de propiedades que poseen los aceites esenciales son
342 utilizados para terapias y tratamientos de enfermedades e infecciones causadas por virus,
343 hongos y bacterias. Son utilizados para el tratamiento de la hipertensión, y de algunos tipos
344 de cáncer, tumores, leucemia, entre otros (Hanif et al., 2019).

345 En el campo de la agricultura, ayudan en la preservación de alimentos debido a sus
346 propiedades antibacteriales (Hanif et al., 2019). De la misma manera, la actividad
347 alelopática de los aceites ayuda contra el crecimiento de malezas alrededor de los cultivos.
348 Se hace uso de las interacciones químicas entre plantas que son posibles debido a la
349 liberación de ciertos compuestos al ambiente, algunos de estos compuestos interrumpen el
350 crecimiento de otras especies botánicas como el 1,8-cineol. Además, han sido ampliamente
351 estudiados como alternativas de los insecticidas químico sintéticos debido a que son
352 biodegradables y amigables con el ambiente (Jugreet et al., 2020). Por otro lado, las
353 propiedades insecticidas que poseen son larvicida, ovicida, inhibitorias de alimentación,
354 repelencia insectistática etc., ayudan al control de plagas de insectos (Hanif et al., 2019;
355 Jugreet et al., 2020).

356

357 **2.3.3 Terpenos**

358 Los terpenos son una de las familias más abundantes de metabolitos secundarios, consisten
359 de cinco unidades de carbono conocidas como isoprenos que pueden ser estructurados de
360 diferentes maneras (Perveen, 2018). Estos hidrocarburos simples pueden presentar
361 modificaciones en su estructura con la presencia de grupos funcionales en diferentes
362 posiciones, al presentarlas se conocen como terpenoides (Boncan et al., 2020). La
363 clasificación de los terpenos y terpenoides es de acuerdo al número de isoprenos que
364 conforman el compuesto: hemiterpenos (C5), monoterpenos (C10), sesquiterpenos (C15),
365 diterpenos (C20), triterpenos (C30), tetraterpenos (C40) y politerpenos (C50 o más). Siendo
366 los más abundantes los monoterpenos y sesquiterpenos (Ninkuu et al., 2021; Noriega,
367 2021). Estos compuestos juegan un papel importante en el desarrollo de la planta. Entre las
368 funciones que desempeñan, están la atracción de organismos tales como insectos
369 polinizadores al funcionar como señales moleculares y también la defensa de la planta
370 contra factores de estrés tanto bióticos como abióticos (B. Singh & Sharma, 2015). En ésta
371 última se han observado y demostrado su actividad biológica sobre insectos fitófagos
372 (Boncan et al., 2020; Zhou & Jander, 2022).

373 **2.3.4 Monoterpenos**

374 Un subgrupo de los terpenos conformados por dos unidades de isopreno, es decir, que
375 consisten en 10 átomos de carbono. Estos compuestos destacan en la composición química
376 del aceite esencial de distintas familias botánicas destacando la Lamiaceae (Noriega, 2021;
377 Wojtunik-Kulesza, 2022). En la figura 5 se muestran ejemplos de las estructuras de algunos
378 monoterpenos que se han estudiado con anterioridad.

379 Los monoterpenos se caracterizan por poseer aromas frutales, florales, frescos, que resultan
380 agradables, es por esto que son utilizados en diferentes áreas como la industria alimenticia,
381 cosmética, médica, y biotecnológica (Paulino et al., 2022).

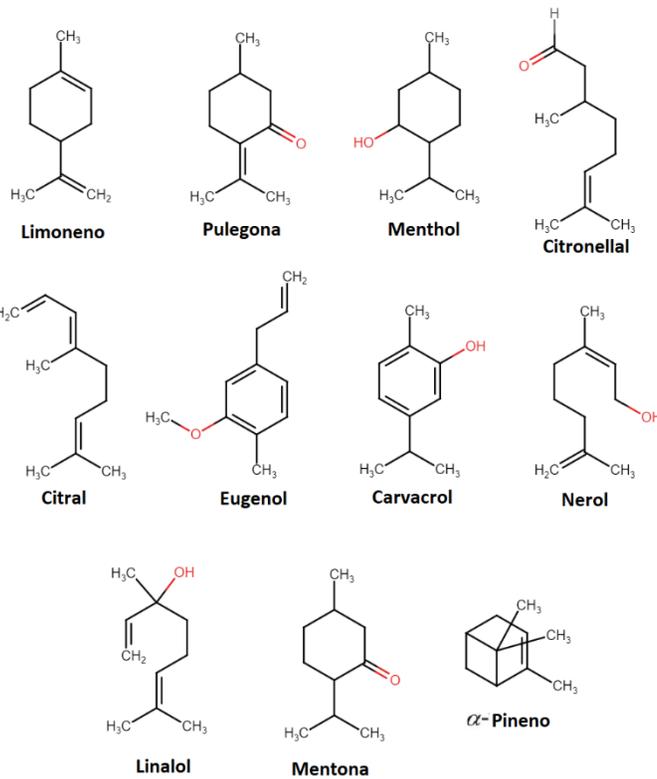
382 **2.3.5 Sesquiterpenos**

383 Los sesquiterpenos son moléculas con 15 átomos de carbono, tres unidades de isopreno.
384 Estas moléculas poseen actividad biológica contra bacterias, hongos, virus e insectos
385 (Noriega, 2021). Están ampliamente presentes en la resinas, raíces, tallos, hojas y semillas,
386 además, al igual que otros terpenos, contribuyen de manera fisicoquímica a la planta (J.
387 Wang et al., 2024). Dentro de las propiedades biológicas que exhibe, se encuentran la
388 actividad antimicrobiana, antiinflamatoria, antifúngica, antioxidante, alelopática,
389 anticáncer, antiviral, neuroprotectora entre otras (Lorigooini et al., 2020; Noriega, 2021; J.
390 Wang et al., 2024).

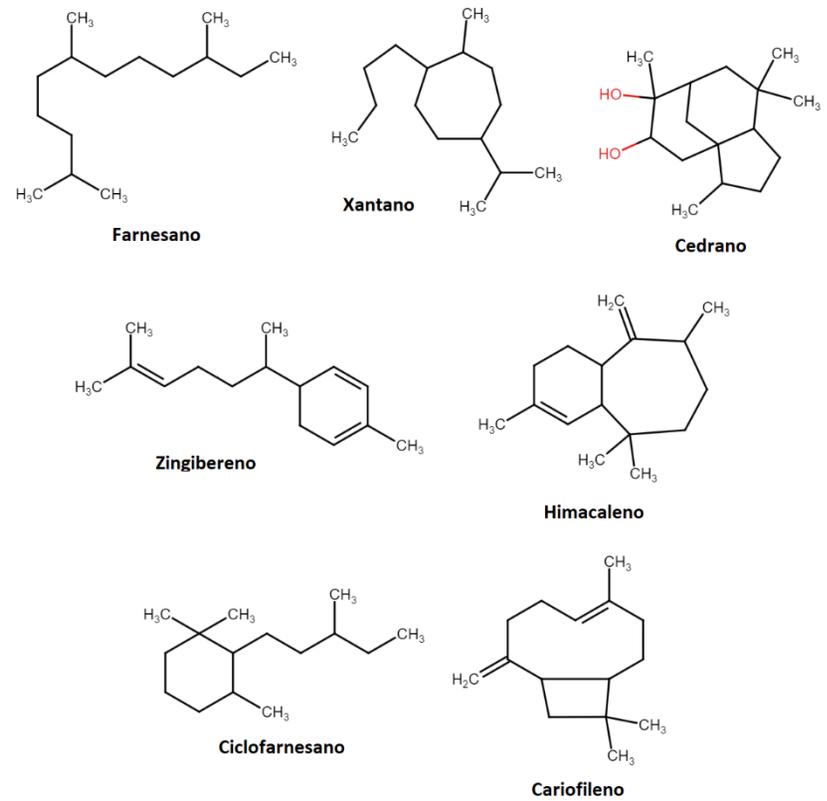
391

392

Monoterpenos



Sesquiterpenos



393

394 **Figura 5.** Estructuras de algunos monoterpenos, monoterpenos, sesquiterpenos y sesquiterpenoides. Fuente propia.

395

396 **2.3.6 Actividad insecticida de aceites esenciales contra plagas de granos almacenados**

397 Algunos aceites esenciales han sido estudiados contra diferentes plagas de granos
 398 almacenados. Algunos de los insectos considerados plagas que afectan este tipo de
 399 alimentos son mencionados: *Plodia interpunctella* (Lepidoptera: Pyralidae), *Rhyzopertha*
 400 *dominica* (Coleoptera: Bostrichidae), *Sitophilus oryzae* (Coleoptera: Curculionidae),
 401 *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae), *Tribolium castaneum* (Coleoptera:
 402 Tenebrionidae) (Hagstrum & Subramabyam, 2013). En la tabla x se enlistan ejemplos de
 403 aceites esenciales contra diferentes plagas de granos almacenados,

404 **Tabla 2.** Aceites esenciales con actividad biológica contra plagas de insectos de granos
 405 almacenados.

Familia	Especie	Compuesto Mayoritario	Insecto plaga	Referencia
Apiaceae	<i>Ferulago angulata</i>	α -Felandreno	<i>T. castaneum</i> <i>R. dominica</i>	(Ebrahimifar et al., 2021)
Asteraceae	<i>Tithonia diversifolia</i>	α -Pino	<i>S. oryzae</i> <i>T. castaneum</i>	(Devi et al., 2021)
Lamiaceae	<i>Lavandula angustifolia</i>	Limoneno	<i>P. interpunctella</i>	(Moullamri et al., 2024)
Lamiaceae	<i>Mentha piperita</i>	Mentona	<i>S. oryzae</i> <i>T. castaneum</i>	(Rajkumar et al., 2019)
Lamiaceae	<i>Mentha pulegium</i>	Pulegona	<i>P. interpunctella</i>	(Moullamri et al., 2024)
Lamiaceae	<i>Salvia officinalis</i>	α -Thujone	<i>P. interpunctella</i>	(Moullamri et al., 2024)
Rutaceae	<i>Citrus sinensis</i>	D-Limoneno	<i>S. zeamais</i>	(Oyedeji et al., 2020)

406

407 **2.3.7 Actividad insecticida de aceites esenciales contra *Tenebrio molitor***

408 Dentro de la literatura han sido reportados aceites esenciales de plantas pertenecientes a
 409 distintas familias botánicas que han presentado actividad insecticida o insectistática contra
 410 *T. molitor*. En la tabla 3 se muestran ejemplos de estas plantas y su respectivo componente
 411 mayoritario.

412 **Tabla 3.** Aceites esenciales con actividad biológica contra *Tenebrio molitor*.

Familia	Especie	Compuesto Mayoritario	Referencia
Asteraceae	<i>Carlina acaulis</i>	Óxido de carlina	(Kavallieratos et al., 2022)
Hypericaceae	<i>H. perforatum</i>	α -Pino	(Baş & Ersoy, 2020)
Lamiaceae	<i>O. vulgare</i>	Carvacrol	(Plata-Rueda et al., 2021)
Lauraceae	<i>Cinnamomum zeylanicum</i>	Eugenol	(Martínez et al., 2018)
Laureaceae	<i>Cymbopogon citratus</i>	3,7-dimetil-6-octenal	(X. Wang et al., 2015)
Laureaceae	<i>Litsea cubeba</i>	(<i>E</i>)-3,7-dimetil-2,6-octadienal	(X. Wang et al., 2015)
Liliaceae	<i>A. sativum</i>	Trisulfuro de dimetilo	(Plata-Rueda et al., 2017)
Myristicaceae	<i>Muristica fragrans</i>	(<i>E</i>)-cinamaldehído	(X. Wang et al., 2015)
Myrtaceae	<i>Syzygium aromaticum</i>	Eugenol	(Martínez et al., 2018)
Rutaceae	<i>Citrus limonum</i>	<i>D</i> -Limoneno	(X. Wang et al., 2015)

413

414 **2.4 *Pelargonium graveolens***



Figura 6. *Pelargonium graveolens*. Fuente propia.

415

416

417

418 **2.4.1 Taxonomía**

419 **Dominio:** Eukarya

420 **Reino:** Plantae

421 **Filo:** Magnoliophyta

422 **Clase:** Equisetopsida

423 **Orden:** Geraniales

424 **Familia:** Geraniaceae

425 **Genero:** *Pelargonium*

426 **Especie:** *P. graveolens*

427 Nombre común: Citronela, Geranio o Geranio aromático

428 *Pelargonium graveolens* es una planta aromática perteneciente a la familia Geraniaceae. Es

429 una especie aromática, floral y perenne proveniente de Sudáfrica (Rana et al., 2002;

430 Tropicos, 2023).

431 **2.4.2 Morfología**

432 *Pelargonium graveolens* es una especie arbustiva de tallo erecto que alcanza 1.3 m de
433 altura. Es una planta ramificada con tallos que se lignifican y se tornan pardos con el
434 tiempo. Las hojas presentan márgenes profundamente dentados y son suaves al tacto debido
435 a la presencia de pubescencias (Blerot et al., 2015). Sus flores son de tamaño pequeño y
436 tonos rosados (Asgarpanah & Ramezanloo, 2015).

437 **2.4.3 Importancia económica**

438 El aceite esencial obtenido de *P. graveolens* es utilizado dentro de las industrias de
439 perfumería, aromaterapia, cosmética y farmacéutica principalmente (Asgarpanah &
440 Ramezanloo, 2015; Niculau et al., 2013). En la medicina tradicional, sus raíces se emplean
441 para tratar infecciones respiratorias y desordenes gastrointestinales, abdominales y uterinos.
442 Sus hojas se utilizan para combatir la ansiedad, el estrés y mejorar la circulación
443 (Asgarpanah & Ramezanloo, 2015). Al ser una especie con flores es cultivada en parques y
444 jardines públicos de manera ornamental. Además, sus usos llegan a la gastronomía donde
445 se utilizan sus extractos de agua floral provenientes de las partes aéreas (Boukhris, Ben
446 Nasri-Ayachi, et al., 2013).

447 **2.4.4 Composición química del aceite esencial de *Pelargonium graveolens*.**

448 Se han realizado estudios sobre la composición del aceite esencial de la planta. De los
449 compuestos químicos que los conforman, muchos son sustancias volátiles. Algunos de los
450 reportados en la planta son terpenoides, flavonoides, fenoles, ácidos cinámicos y taninos.
451 (Asgarpanah & Ramezanloo, 2015). Esto se debe a que la composición del aceite se ve
452 afectada por una variedad de factores como: el cultivo, el proceso de destilación del aceite,
453 las partes de las plantas que fueron destiladas, la edad, el lugar de crecimiento, entre varios
454 otros (Kačániová et al., 2023). En la Tabla 4 se observan los tres compuestos mayoritarios
455 de diferentes estudios.

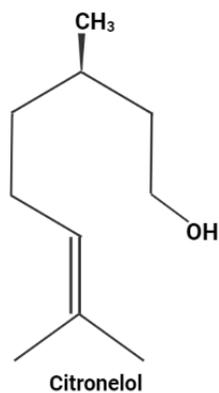
456

457

458

Tabla 4. Compuestos mayoritarios de *Pelargonium graveolens*.

Estudio	Compuestos mayoritarios	Porcentaje (%)
(Rana et al., 2002)	Citronelol	33.6
	Geraniol	26.8
	Linalool	10.5
(Boukhris, Simmonds, et al., 2013)	β -citronelol	21.93
	Geraniol	11.07
	Formiato de citronelilo	13.24
(Asgarpanah & Ramezanloo, 2015)	Citronelol	29.9
	<i>Trans</i> -geraniol	18.03
	10-epi- γ -eudesmol	8.27
(Kardan-Yamchi et al., 2019)	β -citronelol	39.4
	Geraniol	23.7
	Nerol	11.7
(Nikolić et al., 2021)	Citronelol	27.0
	Geraniol	19.2
	Linalool	11.4

459 **2.4.5 Citronelol**

460

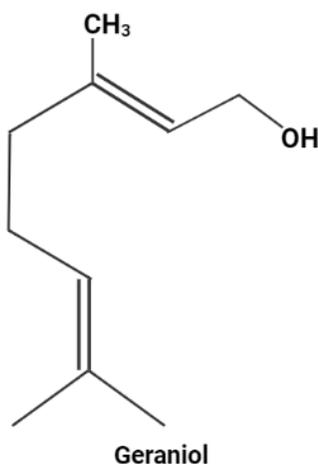
461

Figura 7. Estructura química del citronelol. Fuente propia

462

463 El citronelol es un alcohol monoterpénico presente en el aceite esencial de algunas plantas
464 como *Cymbopogon* spp. y en otras especies aromáticas. Es un líquido con una tenue
465 coloración amarillo pálido y un aroma a rosas. Tiene un punto de fusión de $-21\text{ }^{\circ}\text{C}$, un
466 punto de ebullición de $225\text{ }^{\circ}\text{C}$, es insoluble en glicerol, ligeramente soluble en agua y
467 soluble en propilenglicol y etanol. En cuanto a sus propiedades toxicológicas tiene una
468 dosis letal media de 3.450 mg kg^{-1} y 2.650 mg kg^{-1} en ratas y conejos respectivamente
469 (Aurochemicals, 2023). Además, ha sido reportada la presencia de actividad biológica
470 contra diferentes insectos (Ali et al., 2013; Gallardo et al., 2012; Wise & Croteau, 1999).

471 2.4.6 Geraniol



472

473

Figura 8. Estructura química del geraniol. Fuente propia.

474

475 El geraniol es otro alcohol monoterpénico con un aroma dulce y floral parecido al de una
476 rosa o frutos cítricos. El compuesto puro es un aceite amarillento, es soluble en muchos
477 solventes, pero insoluble en agua. Además, es un producto importante en la composición de
478 una gran variedad de aceites esenciales (Chen & Viljoen, 2010; Mączka et al., 2020).

479 El geraniol normalmente se encuentra con su estereoisómero: nerol, y es extraído de
480 diversas plantas, por ejemplo, *Cymbopogon* spp., *Thymus daenesis*, *Elrtrariopsis elan*,
481 *Neofinela falcata* e incluso *P. graveolens* de las cuales se ha llegado a obtener un
482 porcentaje mayor al 15% de geraniol (Maćzka et al., 2020). Debido a sus propiedades
483 aromáticas se utiliza en productos de belleza, higiene, limpieza y repelentes de insectos,
484 además, posee otras propiedades biológicas como actividad antimicrobiana,
485 antiinflamatoria, antioxidante, insecticida e insectistática (Chen & Viljoen, 2010; Kaur
486 et al., 2019; Sfara et al., 2009).
487

488 **3. HIPÓTESIS**

489 El aceite esencial extraído de las partes aéreas de *Pelargonium graveolens* posee
490 compuestos terpénicos que le confieren actividad insecticida o insectistática contra larvas y
491 adultos de *Tenebrio molitor*,
492

493 **4. OBJETIVOS**

494 **4.1 General**

495 Evaluar la actividad insecticida e insectistática del aceite esencial de *Pelargonium*
496 *graveolens* contra *Tenebrio molitor*.

497 **4.2 Específicos**

- 498 • Determinar la actividad biológica del aceite esencial de *Pelargonium graveolens*
499 contra *Tenebrio molitor*.
- 500 • Identificar la composición química del aceite esencial de *Pelargonium graveolens*.
- 501 • Determinar la actividad biológica del compuesto mayoritario del aceite esencial de
502 *Pelargonium graveolens* contra *Tenebrio molitor*.

503

504 **5. METODOLOGÍA**

505 **5.1 Sitio de estudio**

506 El estudio se llevó a cabo en el Laboratorio de Compuestos Naturales e Insecticidas dentro
507 de las instalaciones de la Facultad de la Química de la Universidad Autónoma de Querétaro
508 Campus Cerro de las Campanas.

509 **5.2 Cría de *Tenebrio molitor***

510 Las larvas y adultos necesarios fueron proporcionados de un pie de cría de *T. molitor*
511 establecido en el Laboratorio de Compuestos Naturales e Insecticidas ubicado en la
512 Facultad de Química en la Universidad Autónoma de Querétaro.

513 Los insectos fueron criados en un sustrato compuesto de madera y aserrín mezclado con
514 alimento como se muestra en la Tabla 5. Estos se mantuvieron en recipientes de plástico
515 (32x58x52 cm) a una temperatura aproximada de 25-27 °C, fotoperiodos de 10:14 h luz:
516 oscuridad y una humedad relativa del 40%

517 **Tabla 5.** Composición de dieta y sustrato (500g) para *Tenebrio molitor*.

	Componente	Cantidad (g)
Sustrato	Aserrín	395
	Trigo	75
Alimento	Avena	25
	Zanahoria	5

518

519 **5.3 Obtención de material vegetal**

520 Se realizó la adquisición de diez ejemplares de *P. graveolens* en el Mercado “El Tepe”
521 ubicado en las coordenadas 20.602447121264333, -100.39615957296783 localizado en el
522 estado de Querétaro, México. Fueron autenticadas de acuerdo a la nomenclatura
523 taxonómica de Rzedowski & Rzedowski, 1995; Moore, 1943. Las plantas se mantuvieron
524 en condiciones de invernadero para su desarrollo y posterior reproducción mediante el
525 método de esqueje.

526 **5.4 Obtención del aceite esencial de *Pelargonium graveolens***

527 Se extrajo el aceite esencial de la planta mediante hidrodestilación, siguiendo la
528 metodología empleada por González-Chávez et al., 2011.

529 El material vegetal fue recolectado después de la etapa de floración. Se recolectaron las
530 partes aéreas de la planta (hojas y tallos) para llevar a cabo la extracción del aceite. Una vez
531 en el laboratorio se cortó por los tallos en trozos de aproximadamente 2 cm y se depositó en
532 un matraz bola de 3 L con 1.5 L de agua destilada para la extracción del agua floral. El
533 agua floral recolectada se separó del aceite esencial mediante una extracción líquido-
534 líquido con éter dietílico. Una vez obtenido el aceite esencial, se separó del éter dietílico
535 mediante destilación utilizando un evaporador rotatorio (Büchi Rotavapor R-200) a una
536 temperatura de 35 °C. Finalmente, el agua residual del aceite esencial se eliminó utilizando
537 sulfato de sodio anhidro. El aceite esencial recolectado será almacenado en frascos de
538 vidrio ámbar a 4 °C.

539 **5.5 Ensayos con el aceite esencial de *Pelargonum graveoloens* contra *Tenebrio molitor*.**

540 Se siguió parte de la metodología utilizada en Mishra et al., 2016 para medir la toxicidad
541 larval.

542 Para cada bioensayo se seleccionaron 10 larvas del décimo instar y se colocaron en una caja
543 Petri con 0.25 g de la dieta de cereales. Se recortaron cuadros de 3 x 3 cm de papel filtro,
544 posteriormente fueron impregnados con una de las diluciones con las siguientes
545 concentraciones: 0, 30, 50, 80, 120 y 150 μL de aceite esencial en 100 μL de acetona (los
546 datos de la concentración 0.2 μL fueron calculados a partir de los datos registrados).
547 Posteriormente se colocarán dentro de las cajas Petri con las larvas y se sellará con papel
548 Parafilm. Finalmente se va a registrar la mortalidad larval cada 24 h durante 120 h.

549 **Tabla 6.** Disposición de los tratamientos en bioensayos

Tratamiento ($\mu\text{L AE } \mu\text{L acetona}^{-1}$)	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	Repetición 4
1.5	Papel filtro impregnado, 0.25 mg alimento, 10 insectos			
1.2	Papel filtro impregnado, 0.25 mg alimento, 10 insectos			
0.8	Papel filtro impregnado, 0.25 mg alimento, 10 insectos			
0.5	Papel filtro impregnado, 0.25 mg alimento, 10 insectos			
0.3	Papel filtro impregnado, 0.25 mg alimento, 10 insectos			
0 (Control)	Papel filtro impregnado, 0.25 mg alimento, 10 insectos			

550

551 **5.6 Caracterización de la composición del aceite esencial de *Pelargonium graveolens*.**

552 Se realizó una caracterización de los compuestos mayoritarios del aceite esencial mediante
553 un análisis de CG-MS, este análisis se realizó en la Universidad Autónoma de San Luis
554 Potosí.

555 El aceite esencial se diluyó al 2% en cloroformo, se utilizó una muestra de 1 μL para el
556 análisis, cada una de las muestras se analizó por triplicado. EL análisis CG-MS se realizó
557 utilizando un 7890 A Network GC System acoplado a un detector selectivo de masas
558 (MSD) 5985E Network (Agilent Technologies, Wilmington, DE, USA). La separación se
559 realizó utilizando una columna capilar HP-5 (0.25 mm d.i. x 30 m, 0.25 μm de espesor de
560 película) (J&W, Folsom, CA, USA) EL inyector se operó en modo splitless a 240 °C con
561 un flujo de 1.0 mL min^{-1} y la temperatura del horno se programó a 40 °C por 3 min y
562 posteriormente calentado a 3 °C min^{-1} hasta 240 °C. El MSD se operó a 70 eV; la fuente de
563 iones se programó a 150 °C y la línea de transferencia a 240 °C. Se identificó el aceite
564 esencial interpretando los fragmentos del espectro de masa en un rango de masa de 40 a
565 400 unidades de masa atómica. Los compuestos fueron identificados comparando los
566 espectros de masa obtenidos con los de referencia del Instituto Nacional de Estándares y
567 Tecnología (NIST11) y Wiley 09.

568 Posteriormente se realizó otro análisis en la Universidad Autónoma de Querétaro el cual
569 consistió en la identificación de la presencia de geraniol dentro de la composición del aceite
570 esencial. Esto debido a que se había reportado anteriormente la presencia de geraniol (Rana
571 et al., 2002; Boukhris, Simmonds, et al., 2013; Asgarpanah & Ramezanloo, 2015; Kardan-
572 Yamchi et al., s. f.; Nikolić et al., 2021) como compuesto mayoritario y ya se contaba con
573 el compuesto en el laboratorio de Compuestos Naturales Insecticidas.

574 Para el análisis se utilizó un cromatógrafo de gases Agilent 6850 acoplado a un
575 espectrómetro de masas de simple cuadrupolo modelo 5973 (Agilent Technologies, Palo
576 Alto, CA, USA). La separación se realizó con una columna capilar HP-88 Agilent (60 m x
577 0.250 μm x 0.25 μm). El gas acarreador fue helio con un flujo de 1.5 mL min^{-1} . El volumen
578 de inyección fue de 1 μL utilizando una relación de split de 1:50. La temperatura inicial del
579 horno fue de 40 $^{\circ}\text{C}$ por 1 minuto, posteriormente se incrementó a 50 $^{\circ}\text{C min}^{-1}$ hasta 150 $^{\circ}\text{C}$
580 y finalmente se incrementó a 5 $^{\circ}\text{C min}^{-1}$ hasta 330 $^{\circ}\text{C}$. La temperatura del inyector y de la
581 línea de transferencia se mantuvieron a 250 $^{\circ}\text{C}$. Los espectros se obtuvieron en modo scan
582 en un rango de 30-400 m z^{-1} .

583 El compuesto se identificó comparando los espectros obtenidos con el espectro de masas
584 generado con el estándar comercial de Sigma-Aldrich con una pureza de $\geq 97\%$ el cuál fue
585 adquirido previamente.

586 **5.7 Bioensayos de actividad insecticida e insectistática de compuestos contra *Tenebrio*** 587 ***molitor*.**

588 Una vez identificado el compuesto mayoritario del aceite esencial, se adquirió de Sigma-
589 Aldrich con una pureza $\geq 95\%$. El geraniol (Sigma-Aldrich con una pureza $\geq 97\%$) y el
590 citronelal (Sigma-Aldrich con una pureza $\geq 95\%$) fueron utilizados para los bioensayos con
591 compuestos debido a su presencia en la composición química del aceite esencial.

592 Para actividad insecticida se seleccionaron 10 individuos (larvas o adultos) y fueron
593 colocados en cajas con 0.25 g de sustrato. Un papel filtro fue impregnado con diferentes
594 concentraciones del compuesto y acetona utilizando las siguientes concentraciones: 0, 30,
595 50, 80 120 y 150 μL . El papel filtro fue colocado dentro de las cajas Petri con las
596 larvas/adultos y el sustrato. Las cajas fueron selladas y se llevó un registro de la mortalidad
597 de las larvas cada 24 h durante 120 h.

598 Para evaluar la actividad insectistática se separaron los insectos de la misma manera que en
599 los ensayos de actividad insecticida, sin embargo, se registró el peso de cada una de las
600 repeticiones durante 40 d cada 10 d. Al mismo tiempo se registró la mortalidad del insecto.

601 **5.8 Análisis estadístico**

602 Los datos obtenidos fueron sometidos a un análisis de varianza de una vía junto con una
603 prueba Tukey con un nivel de confianza del 95% con el software estadístico. Además,
604 realizaron los cálculos para concentración letal media (CL_{50}) mediante un análisis PROBIT
605 con el programa Systat 9.

606

607 **6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

608 **6.1 Obtención de material vegetal**

609 Se adquirieron 10 especímenes de *Pelargonium graveolens* las cuales fueron autenticadas
610 mediante la nomenclatura taxonómica Rzedowski & Rzedowski, 1995; Moore, 1943. Se
611 reprodujo hasta obtener aproximadamente 14 plantas en total para su posterior
612 procesamiento en laboratorio.

613 **6.2 Extracción de aceite esencial**

614 Este proceso se realizó mediante el método de hidrodestilación. Se procesaron 1.602 kg de
615 partes aéreas frescas de *P. graveolens* obteniendo un rendimiento total de 0.0024 %. Este
616 valor fue menor al valor obtenido por Kabera et al., 2011 quienes obtuvieron un
617 rendimiento del 0.26% mediante el mismo método. Abouelatta et al., 2020 en Egipto,
618 obtuvieron un rendimiento inferior de 0.125 % utilizando el método de arrastre de vapor.
619 Sin embargo, Jaradat et al., 2022 en Palestina, encontraron un mayor rendimiento utilizando
620 un Aparato de Clevenger con hojas secas reportando un rendimiento de 1.01 %. Estas
621 diferencias pueden ser atribuibles a las zonas donde se realizó el experimento además del
622 método utilizado para la extracción.



623
624

Figura 9. Aceite esencial extraído de 1.602 kg de *Pelargonium graveolens*.

625 **6.3 Actividad insecticida del aceite esencial de *Pelargonium graveolens* contra *Tenebrio***
 626 ***molitor*.**

627 En el cuadro 1 se observan los resultados del aceite esencial contra larvas de tenebrio,
 628 donde todas las concentraciones tuvieron una diferencia significativa con respecto al
 629 control. En la concentración más baja (0.2 $\mu\text{L AE } \mu\text{L acetona}^{-1}$) se reportó después de 120
 630 h, una mortalidad total de 52.5 %. Mientras que en la concentración más alta (1.5 $\mu\text{L AE}$
 631 $\mu\text{L acetona}^{-1}$) el resultado de mortalidad acumulada fue del 100 %. Se calculó la CL_{50} que
 632 fue de 0.1417 AE $\mu\text{L acetona}^{-1}$.

633 **Cuadro 1.** Resultados del bioensayo del aceite esencial de *Pelargonium graveolens* contra
 634 larvas de *Tenebrio molitor*.

Tratamiento ($\mu\text{L AE } \mu\text{L acetona}^{-1}$)	Porcentajes de mortalidad					
	24 h	48 h	72 h	96 h	120 h	Total
1.5	67.5	25	5	2.5	0	100 \pm ND ^A
1.2	80	10	2.5	5	0	97.5 \pm 2.5 ^A
0.8	55	20	15	2.5	2.5	95 \pm 3.49 ^A
0.5	65	17.5	0	5	0	87.5 \pm 5.3 ^A
0.3	42.5	12.5	20	7.5	7.5	90 \pm 4.8 ^A
0.2	22.5	10	10	5	5	52.5 \pm 8.00 ^B
0	0	0	0	0	0	0 \pm ND ^C
CL_{50}	0.1417 $\mu\text{L AE } \mu\text{L acetona}^{-1}$ (0.08863 – 0.1847)					

635 *Los porcentajes de los resultados son de una población total de 40 larvas.

636 AE= Aceite esencial

637 La CL_{50} fue calculada a partir de los datos de la mortalidad total.

638 En el cuadro 2 se muestran los resultados contra adultos de *T. molitor*, todas las
 639 concentraciones mostraron diferencia significativa con respecto al control. Después de 120
 640 h la concentración más baja (0.2 $\mu\text{L AE } \mu\text{L acetona}^{-1}$) registró una mortalidad total de 25
 641 %, mientras que la concentración más alta (1.5 $\mu\text{L AE } \mu\text{L acetona}^{-1}$) al mismo tiempo,
 642 registró una mortalidad acumulada de 92.5 %, Se puede observar que la mortalidad
 643 acumulada fue aumentando conforme aumentaba la concentración del aceite esencial.
 644 Finalmente, la CL_{50} calculada fue de 0.5398 $\mu\text{L AE } \mu\text{L acetona}^{-1}$.

645 **Cuadro 2.** Resultados del bioensayo del aceite esencial de *Pelargonium graveolens* contra
 646 adultos de *Tenebrio molitor*.

Tratamiento ($\mu\text{L AE } \mu\text{L acetona}^{-1}$)	Porcentajes de mortalidad					
	24 h	48 h	72 h	96 h	120 h	Total
1.5	57.5	25	7.5	2.5	0	92.5 \pm 4.22 ^A
1.2	47.5	10	25	2.5	5	90 \pm 4.80 ^{AB}
0.8	27.5	22.5	5	10	12.5	77.5 \pm 6.69 ^{AB}
0.5	20	22.5	7.5	5	10	65 \pm 7.64 ^{BC}
0.3	12.5	10	7.5	5	5	40 \pm 7.84 ^{CD}
0.2	7.5	7.5	5	2.5	2.5	25 \pm 6.93 ^{DE}
0	0	0	0	0	0	0 \pm 0 ^{C^E}
CL_{50}	0.5398 $\mu\text{L AE } \mu\text{L acetona}^{-1}$ (0.4164 – 0.6445)					

647 *Los porcentajes de los resultados son de una población total de 40 adultos.
 648 AE= Aceite esencial
 649 La CL_{50} fue calculada a partir de los datos de la mortalidad total.

650 Plata-Rueda et al., 2021 estudiaron la actividad insecticida del aceite esencial de *O. vulgare*
651 contra *T. molitor*. Se reportó una $DL_{50} = 3.032 \mu\text{g insecto}^{-1}$ para larvas y una $DL_{50} = 6.12$
652 $\mu\text{g insecto}^{-1}$ para adultos después de 48 h de exposición. Baş & Ersoy, 2020 estudiaron la
653 toxicidad del aceite esencial de *H. perforatum* reportaron una CL_{50} para larvas y adultos de
654 8.24 y 3.06 $\mu\text{L L}^{-1}$ respectivamente después de 24 h. Mientras que Plata-Rueda et al.,
655 2017 estudiaron el aceite esencial de *A. sativum* y reportaron $CL_{50} = 0.77$ y 2.0232 mg mL^{-1}
656 para larvas y adultos respectivamente después de 48 h. Además, X. Wang et al., 2015
657 reportaron la toxicidad por fumigación de los aceites esenciales de *C. citratus*, *L. cubeba*.
658 contra larvas y adultos de *T. molitor*. Los valores reportados de CL_{50} después de 48 h para
659 *C. citratus* fueron de 10.9 $\mu\text{L L}^{-1}$ para larvas y de 12.0 $\mu\text{L L}^{-1}$ para adultos, mientras que
660 para *L. cubeba* fue de 2.7 $\mu\text{L L}^{-1}$ para larvas y de 3.7 $\mu\text{L L}^{-1}$ para adultos. Petrović et al.,
661 2019 estudiaron la toxicidad del aceite esencial de *Carum carvi* (Apiaceae) contra *T.*
662 *molitor*, reportando una CL_{50} de 3.312 $\mu\text{L mL}^{-1}$ contra adultos.

663 Estos estudios corroboran la actividad insecticida que presentan los aceites esenciales de las
664 plantas contra larvas y adultos de *T. molitor*.

665

666 Por otro lado, Abouelatta et al., 2020 observaron los efectos letales del aceite esencial de *P.*
667 *graveolens* contra adultos de *R. dominica* y *T. castaneum* donde se reportó una CL_{50} de .0.8
668 $\text{mg (cm}^3)^{-1}$ en *R. dominica* después de 6 h de exposición y de 0.78 $\text{mg (cm}^3)^{-1}$ en *T.*
669 *castaneum* después de 48 h. Mientras que M'hamdi et al., 2024 al estudiar la mortalidad del
670 aceite esencial de *P. graveolens* contra adultos de *S. oryzae* reportaron una CL_{50} de 13.79
671 $\mu\text{L L}^{-1}$ después de 120 h d exposición. En cambio, Gad et al., 2022 estudiaron los efectos
672 mortales del aceite esencial de *P. graveolens* contra distintas etapas de *Tribolium confusum*
673 (Coleoptera: Tenebrionidae) y reportaron una CL_{50} de 91.17 $\mu\text{L L}^{-1}$ para larvas y $>100 \mu\text{L}$
674 L^{-1} para adultos ambos después de un periodo de exposición de 7 d. Raafat et al., 2022
675 reportaron los efectos insecticidas del aceite esencial de *P. graveolens* posterior a 24 h de
676 exposición contra adultos de *R. dominica*, *T. castaneum* y *S. oryzae* donde fueron
677 reportados valores de CL_{50} de 590.7, 812.6 y 1310.4 mg L^{-1} respectivamente.

678 De esta manera, los estudios corroboran que el aceite esencial de *P. graveolens* posee
 679 actividad insecticida contra insectos plaga de granos y productos almacenados, incluyendo
 680 aquellos a tenebrionidos.

681 **6.4 Análisis de la composición química del aceite esencial de *Pelargonium graveolens*.**

682 En el primer análisis realizado en San Luis Potosí determinó la composición química del
 683 aceite esencial mediante el análisis GC-MS en el cual se identificaron 51 compuestos
 684 representando el 92.02 % de la composición del aceite esencial (Tabla 7). Los compuestos
 685 más más abundantes fueron el citronelol (48.04 ± 0.19), la isomentona (15.52 ± 0.37) y
 686 propionato de hexilbenceno (4.94 ± 0.26).

687 La isomentona no se trabajó debido a que esta coincidió como el compuesto mayoritario de
 688 otra planta que se estaba estudiando en el mismo grupo de trabajo contra el mismo insecto,
 689 *T. molitor* (Aponte-Pineda, 2024).

690 **Tabla 7.** Compuestos identificados en la muestra de aceite esencial de *P. graveolens*.

Tiempo de retención	Abundancia relativa (%)	Compuesto identificado
6.67	0.10 ± 0.01	Heptanal
7.16	0.02 ± 0.00	Triciclono
7.65	0.09 ± 0.01	α -Pino
8.41	0.05 ± 0.01	3-Metil ciclohexanona
8.78	0.05 ± 0.00	Benzaldehído
10.18	0.11 ± 0.01	β -Pino
10.47	0.01 ± 0.01	2-Thujene
11.51	0.04 ± 0.00	<i>o</i> -Cimeno
11.67	0.08 ± 0.01	D-Limoneno
12.81	0.06 ± 0.01	2,7-Dimetilocta-2,6-dienol
13.35	0.07 ± 0.01	Ácido 2,2-Dimetil-3- <i>trans</i> - β -(2-metilalil)-ciclopropanocarboxílico
14.33	0.07 ± 0.01	1,1-dimetoxiheptano
15.21	0.53 ± 0.05	Óxido de linalool
15.5	0.08 ± 0.02	6-Metil-3.5-heptadiene-2-ona
15.7	3.35 ± 0.25	Óxido de rosa
16.22	0.06 ± 0.01	6-Camphenol

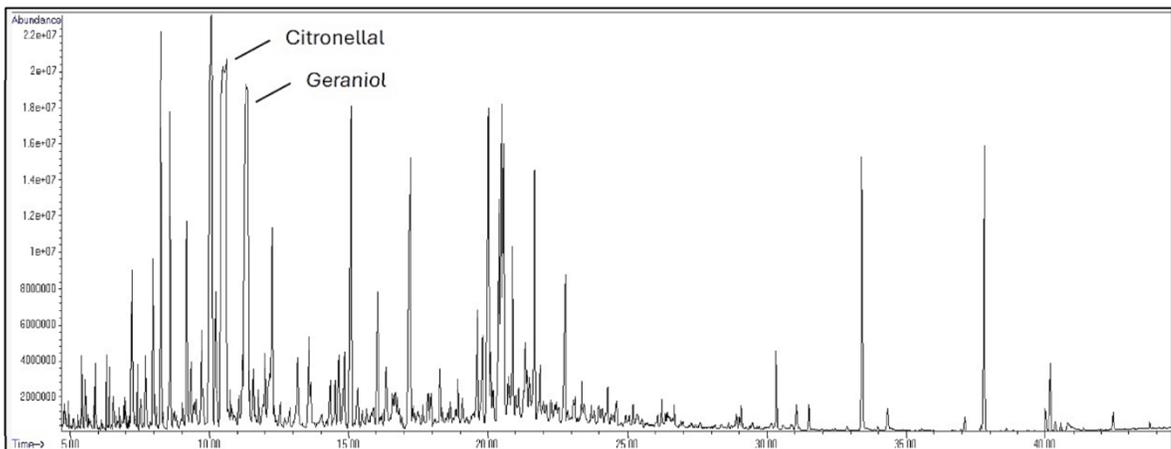
16.42	1.60 ± 0.14	Óxido de <i>trans</i> -rosa
16.69	0.14 ± 0.01	Nopinona
17.35	0.04 ± 0.01	<i>trans, trans</i> -5-Caranol
17.52	0.34 ± 0.02	Mentona
17.74	0.81 ± 0.09	Citronellal
18.11	15.52 ± 0.37	Isomentona
19.93	0.13 ± 0.00	8-Hidroxineomentol
20.15	0.19 ± 0.02	Verbenona
20.3	0.23 ± 0.02	4-Metilpentanoato de (1 <i>E</i>)-1-butenilo
21.4	0.06 ± 0.02	7-Etil-4-nonanona
22.28	48.04 ± 0.19	Citronelol
27.41	0.23 ± 0.03	Copaeno
27.71	0.43 ± 0.01	β-Bourboneno
27.88	0.13 ± 0.02	Ácido Decanoico
28.18	0.18 ± 0.02	1-Etenil-1-metil-2,6-bis(1-metiletetil)-ciclohexano
29.18	0.24 ± 0.02	Aromandendreno
30.11	0.22 ± 0.02	α-Guaieno
30.29	2.99 ± 0.09	α-Gurjuneno
30.63	0.33 ± 0.04	Propionato de citronellilo
31.76	0.68 ± 0.04	Germacreno D
31.93	0.69 ± 0.03	Propionato de Geranilo
32.16	0.20 ± 0.00	β-Cubebeno
32.64	0.18 ± 0.04	α-Muuroleno
32.91	0.08 ± 0.02	δ-Selineno
33.12	0.21 ± 0.01	γ-Cadineno
34.04	0.12 ± 0.02	Butirato de Citronellilo
35.76	0.55 ± 0.04	Oxido de Cariofilleno
36.14	4.94 ± 0.26	Propionato de hexilbenceno
37.21	2.96 ± 0.18	γ-Eudesmol
37.58	0.27 ± 0.04	Cubenol
38.1	1.69 ± 0.13	tau.-Cadinol
38.61	0.09 ± 0.02	tau.-Muurolol
39.25	1.12 ± 0.07	Tiglato de citronellilo
40.56	1.49 ± 0.03	Tiglato de geranilo
45.54	0.14 ± 0.01	Hexahidrofarnesil acetona
Total	92.02	

691 Sin embargo, en estudios anteriores donde se determinó la composición química del aceite
692 esencial de *P. graveolens* los compuestos mayoritarios que más fueron reportados fueron el

693 citronelol y geraniol. Nikolić et al., 2021, identificaron como compuestos mayoritarios el
694 citronelol (27 %), geraniol (19.2 %), y linalol (11.4 %). Kačániová et al., 2023 reportó la
695 composición mayoritaria constituida por β -citronelol (29.7 %), geraniol (14.6 %) y mentol
696 (6.7 %).

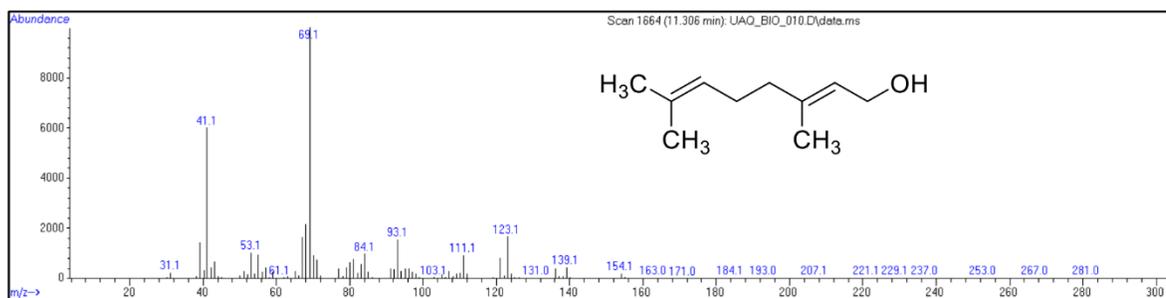
697 De los compuestos identificados con el análisis, se decidió trabajar con el citronelol (CM)
698 por ser el compuesto mayoritario, con el geraniol (Ge) debido a su presencia como
699 compuesto mayoritario en trabajos previos y con el citronelal (Ci) debido a que estaba
700 presente en la composición y se contaba con el compuesto en el laboratorio.

701 Se realizó un segundo análisis para identificar la presencia de Ge en el aceite esencial. Este
702 segundo análisis se realizó utilizando un estándar comercial con el que ya se contaba en el
703 Laboratorio de Compuestos Naturales Insecticidas. El espectro obtenido, figura 11, se
704 comparó con el espectro del estándar de Ge (figura 12) lo cual confirmó la presencia del
705 compuesto en la composición del aceite esencial de *P. graveolens*. Por lo que se decidió
706 trabajar con este compuesto.



707
708

Figura 10. Espectro de la muestra de aceite esencial de *Pelargonium graveolens*.



709
710

Figura 11. Espectro de masas del geraniol a 70 eV.

711 **6.5 Bioensayo con Citronelol contra *Tenebrio molitor*.**

712 En el cuadro 3 se muestran los resultados registrados en los bioensayos de CM contra
713 larvas de *T. molitor*. Las concentraciones utilizadas no tuvieron diferencia significativa con
714 respecto al control. En la concentración más alta (1.5 μL CM μL acetona⁻¹) se registró una
715 mortalidad total acumulada del 10 % mientras que en las concentraciones más bajas (0 μL
716 CM μL acetona⁻¹ y 0.2 μL CM μL acetona⁻¹) se registró una mortalidad acumulada del 0
717 %.

718 **Cuadro 3.** Actividad del citronelol contra larvas de *Tenebrio molitor*.

Tratamiento (μL CM μL acetona ⁻¹)	Porcentajes de mortalidad					
	24 h	48 h	72 h	96 h	120 h	Total
1.5	2.5	2.5	5	0	0	10 \pm 4.80 ^A
1.2	0	2.5	5	0	0	7.5 \pm 4.22 ^A
0.8	0	0	2.5	2.5	0	5 \pm 3.49 ^A
0.5	2.5	0	0	0	0	2.5 \pm 2.50 ^A
0.3	0	0	2.5	0	0	2.5 \pm 2.50 ^A
0.2	0	0	0	0	0	0 \pm n.d. ^A
0	0	0	0	0	0	0 \pm n.d. ^A
CL ₅₀	2.9567 μL CM μL acetona ⁻¹ (2.0929 – 7.7337)					

719 *Los porcentajes de los resultados son de una población total de 40 larvas.
720 CM= Compuesto Mayoritario (Citronelol)
721 La CL₅₀ fue calculada a partir de los datos de la mortalidad total.

722

723 En el cuadro 4 se muestran los resultados del bioensayo del compuesto CM contra adultos
 724 de *T. molitor*. En los resultados se observa que todas las concentraciones tuvieron
 725 diferencia significativa con respecto al control. En la concentración más baja (0.2 $\mu\text{L CM}$
 726 $\mu\text{L acetona}^{-1}$) se reportó una mortalidad total de 12.5 %. En cambio, la concentración más
 727 alta (1.5 $\mu\text{L CM}$ $\mu\text{L acetona}^{-1}$) la mortalidad total reportada fue de 52.5 %. Para estos
 728 valores reportados se calculó la CL_{50} que fue de 1.2513 $\text{CM } \mu\text{L acetona}^{-1}$.

729 **Cuadro 4.** Actividad insecticida del citronelol contra adultos de *Tenebrio molitor*.

Tratamiento (μL $\text{CM } \mu\text{L acetona}^{-1}$)	Porcentajes de mortalidad					
	24 h	48 h	72 h	96 h	120 h	Total
1.5	7.5	7.5	12.5	12.5	12.5	52.5 \pm 8.00 ^A
1.2	5	10	12.5	10	7.5	45 \pm 7.97 ^{AB}
0.8	0	5	7.5	17.5	10	40 \pm 7.84 ^{ABC}
0.5	2.5	5	7.5	7.5	7.5	30 \pm 7.34 ^{ABCD}
0.3	0	5	2.5	5	10	22.5 \pm 6.69 ^{BCD}
0.2	0	2.5	2.5	2.5	5	12.5 \pm 6.39 ^{CD}
0	0	2.5	0	0	2.5	5 \pm 3.49 ^D
CL_{50}	1.2513 $\mu\text{L CM } \mu\text{L acetona}^{-1}$ (1.05001 – 1.5896)					

730 *Los porcentajes de los resultados son de una población total de 40 adultos.

731 CM= Compuesto Mayoritario

732 La CL_{50} fue calculada a partir de los datos de la mortalidad total.

733 En un estudio similar en la India, Brari & Kumar 2020 donde estudiaron la actividad
 734 insecticida del citronelol en adultos de *T. castaneum* y *S. oryzae*. Se reportó una CL_{50} de
 735 1.14 $\mu\text{L mL aire}^{-1}$ después de 24 h de exposición sobre *S. oryzae* y de 1.53 $\mu\text{L mL aire}^{-1}$
 736 para *T. castaneum* en el mismo periodo de tiempo. Los valores expuestos en este estudio
 737 fueron similares a los registrados en los bioensayos realizados. En cambio, Raafat et al.,
 738 2022, en Egipto, estudiaron los efectos letales del citronelol en adultos de *R. dominica*, *S.*
 739 *oryzae* y *T. castaneum*, después de 24 h de exposición obteniendo una CL_{50} de 527.3, 898.9
 740 y 628.2 $\mu\text{L mL}^{-1}$ para *R. dominica*, *S. oryzae* y *T. castaneum* respectivamente. Esta

741 diferencia puede deberse a que el compuesto fue adquirido de una empresa de fragancias y
 742 sabores, por esto puede que el compuesto tenga una menor toxicidad contra el insecto.

743 **6.6 Actividad insectistática e insecticida del Geraniol contra *Tenebrio molitor*.**

744 Durante la evaluación de la actividad insecticida utilizando geraniol (Ge) contra larvas de
 745 *T. molitor* no se observó una mortalidad significativa durante los primeros 5 d.

746 No se registró una actividad insecticida dentro de los primeros 5 d. por lo que se comenzó
 747 el registro de la actividad insectistática.

748 En el cuadro 5 se muestran los registros de la mortalidad acumulada a lo largo de 40 d. Los
 749 valores obtenidos en las concentraciones fueron significativamente diferentes al control. En
 750 la concentración más baja (0.3 $\mu\text{L Ge } \mu\text{L acetona}^{-1}$) se registró una mortalidad total de 45
 751 % mientras que a partir de 1.2 $\mu\text{L Ge } \mu\text{L acetona}^{-1}$ se tuvo una mortalidad del 100 %.

752 **Cuadro 5.** Mortalidad de geraniol contra larvas de *Tenebrio molitor*.

Tratamiento	Mortalidad (%)				
	10 d	20 d	30 d	40 d	Total
1.5	10±7.1	35±12.6	45±9.6	10±4.1	100±ND ^A
1.2	20±7.1	30±9.1	37.5±4.8	12.5±9.5	100±ND ^A
0.8	2.5±2.5	37.5±8.5	37.5±7.5	17.5±2.5	95±5 ^A
0.5	12.5±6.3	17.5±7.5	37.5±14.4	15±6.5	82.5 ±11.1 ^A
0.3	10±7.1	12.5±4.8	17.5±6.3	5±5	45±8.66 ^B
0	2.5±2.5	2.5±2.5	0±n.d.	5±5	10±5.8 ^C
CL ₅₀	0.3161 $\mu\text{L Ge } \mu\text{L acetona}^{-1}$ (0.2498-0.3776)				

753 Los valores son un promedio calculado de un total de 40 larvas.

754 Ge= Geraniol, MT= Mortalidad Total

755 La CL₅₀ fue calculada a partir de los datos de la mortalidad total.

756 En el cuadro 6 se muestran las variaciones del peso en las larvas durante 40 días. En la
 757 concentración más baja (0.3 $\mu\text{L Ge } \mu\text{L acetona}^{-1}$) se obtuvo una pérdida de peso del 57.4
 758 %. Mientras que a partir de la concentración de 1.2 $\mu\text{L Ge } \mu\text{L acetona}^{-1}$ se registró una
 759 pérdida del 100 %. Por otro lado, el control no tuvo pérdida de peso, si no que hubo una
 760 ganancia de peso.

761

762 **Cuadro 6.** Variación de peso de larvas en geraniol contra *Tenebrio molitor*.

Tratamiento ($\mu\text{L Ge } \mu\text{L acetona}^{-1}$)	Pesos promedio (mg)					Diferencia de peso (%)
	0 d	10 d	20 d	30 d	40 d	
1.5	137.3 \pm 6.8	99 \pm 4.4	46.3 \pm 6.4	8.75 \pm 7.14	0 \pm n.d.	-100
1.2	140 \pm 9.8	90.5 \pm 13.1	45.3 \pm 11.4	10 \pm 7.1	0 \pm n.d.	-100
0.8	119.75 \pm 2.4	91.5 \pm 4.5	45.5 \pm 7.6	17 \pm 5.5	2.75 \pm 2.8	-97.7
0.5	115.25 \pm 3.7	85.25 \pm 4.6	50.75 \pm 6.3	24.3 \pm 10.0	13 \pm 9.1	-88.7
0.3	129.25 \pm 5.3	98.3 \pm 11.7	72.8 \pm 14	58 \pm 12.9	55 \pm 13.4	-57.4
0	159.75 \pm 9.1	166.75 \pm 7.4	167.5 \pm 13	172.5 \pm 4.4	176.3 \pm 6	10.35

763 Los valores presentados después de los pesos son el error estándar

764 Ge= Geraniol

765 La CL₅₀ fue calculada a partir de los datos de la mortalidad total.

766 En el cuadro 7 se presenta la actividad se muestra la mortalidad registrada durante los
 767 bioensayos de Ge contra adultos de *T. molitor*. Todas las concentraciones tuvieron
 768 diferencia significativa con respecto al control con excepción de la concentración 0.2 $\mu\text{L Ge } \mu\text{L acetona}^{-1}$.
 769 En la concentración más baja (0.2 $\mu\text{L Ge } \mu\text{L acetona}^{-1}$) se registró una
 770 mortalidad acumulada de 3.33 %. Mientras que en la concentración más alta (1.5 $\mu\text{L Ge } \mu\text{L acetona}^{-1}$)
 771 se registró una mortalidad acumulada del 93.33 %. Sin embargo, en la concentración 1.2 $\mu\text{L Ge } \mu\text{L acetona}^{-1}$
 772 se reportó una mortalidad total del 100 %.

773

774 **Cuadro 7.** Actividad insecticida de geraniol contra adultos de *Tenebrio molitor*.

Tratamiento ($\mu\text{L Ge } \mu\text{L acetona}^{-1}$)	Porcentajes de mortalidad					
	24 h	48 h	72 h	96 h	120 h	MT
1.5	40	20	20	10	3.33	93.33 \pm 4.63 ^A

1.2	26.67	40	20	10	3.33	100±n.d. ^A
0.8	13.33	6.67	10	3.33	13.33	46.67±9.26 ^B
0.5	6.67	6.67	10	16.67	6.67	46.67±9.26 ^B
0.3	0	3.33	0	3.33	0	6.67±3.33 ^C
0.2	0	3.33	0	0.00	0	3.33±3.33 ^C
0	0	0	3.33	0	0	3.33±3.33 ^C
CL ₅₀	0.7591 µL Ge µL acetona ⁻¹ (0.6748 – 0.8530)					

775 Los valores son un promedio calculado de un total de 40 adultos.

776 Ge= Geraniol, MT= Mortalidad Total

777 La CL₅₀ fue calculada a partir de los datos de la mortalidad total.

778

779 En el estudio de Brari & Kumar 2020 reportaron los efectos del Ge en *S. oryzae* y *T.*
780 *castaneum*. La CL₅₀ después de una exposición de 24 h fue de 0.14 y 0.24 µLGe mL aire⁻¹
781 para *S. oryzae* y *T. castaneum* respectivamente. Estos valores fueron similares a los
782 registrados en el estudio corroborando la actividad insecticida. En otro estudio de Raafat et
783 al., 2022 estudiaron los efectos del Ge en tres insectos diferentes (*R. dominica*, *S. oryzae* y
784 *T. castaneum*). Las CL₅₀ respectivamente fueron de 441.0, 1618.4 y 924.3 µL mL después
785 de una exposición de 24 h. Estos valores fueron más elevados a los registrados en los
786 bioensayos realizados en la presente investigación, esto puede deberse a que el compuesto
787 fue adquirido en una compañía de fragancias y sabores, por esto puede que este haya tenido
788 una menor toxicidad contra el insecto.

789 **6.7 Bioensayos con Citronelal contra *Tenebrio molitor*.**

790 En el cuadro 8 se muestran los resultados obtenidos del citronelal (Ci) contra larvas de *T.*
 791 *molitor*. Todas las concentraciones presentaron diferencia significativa con respecto al
 792 control. En la concentración más baja (0.2 $\mu\text{L Ci } \mu\text{L acetona}^{-1}$.) se reportó una mortalidad
 793 total de 52.5 %. Mientras que, en la concentración más alta (1.5 $\mu\text{L Ci } \mu\text{L acetona}^{-1}$.) se
 794 reportó una mortalidad total del 100 % a las 96 h. La CL_{50} fue de 0.1417 $\mu\text{L Ci } \mu\text{L acetona}^{-1}$.
 795 ¹.

796 **Cuadro 8.** Actividad insecticida del citronelal contra larvas de *Tenebrio molitor*.

Tratamiento ($\mu\text{L Ci } \mu\text{L acetona}^{-1}$)	Porcentajes de mortalidad					
	24 h	48 h	72 h	96 h	120 h	Total
1.5	42.5	10	2.5	0	0	55±7.97 ^A
1.2	37.5	7.5	0	0	0	45±8.73 ^{AB}
0.8	10	5	0	2.5	2.5	20±6.41 ^{BC}
0.5	17.5	2.5	0	7.5	0	27.5±7.15 ^{BC}
0.3	2.5	2.5	5	5	0	15±5.72 ^C
0.2	5	2.5	0	2.5	0	10±4.80 ^C
0	0	2.5	0	0	0	2.5±2.5 ^C
CL_{50}	1.3542 $\mu\text{L Ci } \mu\text{L acetona}^{-1}$ (1.1570 – 1.6839)					

797 Los valores son un promedio calculado de un total de 40 larvas.

798 Ci= Citronelal

799 La CL_{50} fue calculada a partir de los datos de la mortalidad total.

800 En el cuadro 9 se muestran los resultados de los bioensayos de Ci contra adultos de *T.*
 801 *molitor*. Todas las concentraciones mostraron diferencia significativa con respecto al
 802 control. La concentración más baja (0.2 $\mu\text{L Ci } \mu\text{L acetona}^{-1}$.) se reportó una mortalidad
 803 total del 45 %. Mientras que, a partir de la concentración de 0.5 $\mu\text{L Ci } \mu\text{L acetona}^{-1}$ se
 804 reportó una mortalidad total del 100 %. La CL_{50} calculada fue de 0.2362 $\mu\text{L Ci } \mu\text{L acetona}^{-1}$.
 805 ¹.

806

807 **Cuadro 9.** Actividad insecticida del citronelal contra adultos de *Tenebrio molitor*.

Tratamiento ($\mu\text{L Ci } \mu\text{L acetona}^{-1}$)	Porcentajes de mortalidad					
	24 h	48 h	72 h	96 h	120 h	Total
1.5	90	10	0	0	0	100 \pm 0 ^A
1.2	100	0	0	0	0	100 \pm 0 ^A
0.8	85	15	0	0	0	100 \pm 0 ^A
0.5	92.5	7.5	0	0	0	100 \pm 0 ^A
0.3	52.5	12.5	5	0	2.5	72.5 \pm 7.15 ^B
0.2	40	5	0	0	0	45 \pm 7.97 ^C
0	0	0	0	2.5	0	2.5 \pm 2.5 ^D
CL ₅₀	0.2362 $\mu\text{L Ci } \mu\text{L acetona}^{-1}$ (0.1758 – 0.2892)					

808 Los valores son un promedio calculado de un total de 40 adultos.

809 C= Citronelal

810 La CL₅₀ fue calculada a partir de los datos de la mortalidad total.

811 Yildirim et al., 2013 estudiaron los efectos de monoterpenos sobre *S. zeamais* entre los
 812 compuestos estudiados estaba el Ci. La después de 96 h de exposición se calculó la DL₅₀
 813 que fue de 8.086 $\mu\text{L Ci insecto}^{-1}$. Esta concentración es mayor a la calculada en nuestro
 814 estudio esto se puede deber a la cantidad de alimento proporcionada a los insectos en los
 815 bioensayos ya que se colocaron 33 granos de maíz en la caja Petri con 33 insectos.

816

817 **8. CONCLUSIONES**

818 El aceite esencial de *Pelargonium graveolens* presentó actividad insecticida contra larvas y
819 adultos de *Tenebrio molitor*. Los resultados de mortalidad fueron similares, sin embargo,
820 después de 120 h el efecto insecticida fue mayor contra larvas con una CL_{50} de $0.1417 \mu\text{L}$
821 $\text{AE } \mu\text{L acetona}^{-1}$. En cambio, para adultos la CL_{50} calculada fue de $0.5398 \mu\text{L AE } \mu\text{L}$
822 acetona^{-1}

823 Se identificó la composición química del aceite esencial de *Pelargonium graveolens*
824 mediante un análisis GC-MS. En el análisis fueron identificados 51 compuestos que
825 representaron el 92.02 % de la composición. Los compuestos mayoritarios fueron el
826 citrionelol (48.04 %), la isomentona (15.52 %) y el propionato de hexilbenceno (4.94).
827 además, hubo presencia de geraniol y citrionelal dentro de la composición.

828 Los compuestos evaluados demostraron poseer actividad insecticida contra larvas y adultos
829 de *T. molitor*. El compuesto con mayor actividad insecticida fue el citrionelal que a las 120
830 h tuvo una CL_{50} de 1.3542 y $0.2362 \mu\text{L Ci } \mu\text{L acetona}^{-1}$ para larvas y adultos
831 respectivamente a las 120 h. En seguida está el citrionelol con una CL_{50} de 2.9567 y 1.2513
832 $\mu\text{L CM } \mu\text{L acetona}^{-1}$ para larvas y adultos respectivamente a las 120 h y finalmente el
833 geraniol con una CL_{50} de 0.7591 para adultos a las 120 h. En larvas no se registró actividad
834 insecticida, sin embargo, se registró actividad insectistática en la cual se registró pérdida de
835 peso desde 57.4 % a partir de una concentración de $0.3 \mu\text{L Ge } \mu\text{L acetona}^{-1}$ y muertes en las
836 concentraciones más altas de $1.2 \mu\text{L Ge } \mu\text{L acetona}^{-1}$

837

10. BIBLIOGRAFÍA

- Abdel-Tawab, H. M. (2016). Green Pesticides: Essential Oils as Biopesticides in Insect-pest Management. *Journal of Environmental Science and Technology*, 9(5), 354-378.
<https://doi.org/10.3923/jest.2016.354.378>
- Abouelatta, A. M., Keratum, A. Y., Ahmed, S. I., & El-Zun, H. M. (2020). Repellent, contact and fumigant activities of geranium (*Pelargonium graveolens* L.'Hér) essential oils against *Tribolium castaneum* (Herbst) and *Rhyzopertha dominica* (F.). *International Journal of Tropical Insect Science*, 40(4), 1021-1030. <https://doi.org/10.1007/s42690-020-00161-4>
- Adamski, Z., Kabzińska, M., Pruskaya, A., Konwerski, S., Marciniak, P., Szymczak, M., Chowański, S., Spochacz, M., Scrano, L., Bufo, S. A., Büyükgüzel, E., & Büyükgüzel, K. (2016). Sublethal Effects of *Solanum tuberosum* and *Lycopersicon esculentum* Leaf Extracts on *Tenebrio molitor* and *Harmonia axyridis*. *Karaelmas Science and Engineering Journal*, 1(1), 59-66.
- Ahmed, N., Alam, M., Saeed, M., Ullah, H., Iqbal, T., Al-Mutairi, K. A., Shahjeer, K., Ullah, R., Ahmed, S., Ahmed, N. A. A. H., Khater, H. F., Salman, M., Ahmed, N., Alam, M., Saeed, M., Ullah, H., Iqbal, T., Al-Mutairi, K. A., Shahjeer, K., ... Salman, M. (2021). Botanical Insecticides Are a Non-Toxic Alternative to Conventional Pesticides in the Control of Insects and Pests. En *Global Decline of Insects*. IntechOpen.
<https://doi.org/10.5772/intechopen.100416>
- Akhtar, Y., Pages, E., Stevens, A., Bradbury, R., Da Camara, C. A. G., & Isman, M. B. (2012). Effect of chemical complexity of essential oils on feeding deterrence in larvae of the cabbage looper. *Physiological Entomology*, 37, 81-91. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3032.2011.00824.x>

- Ali, A., Murphy, C. C., Demirci, B., Wedge, D. E., Sampson, B. J., Khan, I. A., Baser, K. H. C., & Tabanca, N. (2013). Insecticidal and biting deterrent activity of rose-scented geranium (*Pelargonium* spp.) essential oils and individual compounds against *Stephanitis pyrioides* and *Aedes aegypti*. *Pest Management Science*, *69*(12), 1385-1392.
<https://doi.org/10.1002/ps.3518>
- Aponte-Pineda, L. S. (2024). *Evaluación de la actividad insecticida del aceite esencial de Hesperozygis marifolia (Lamiaceae) contra Tenebrio molitor (Coleoptera: Tenebrionidae)* [Universidad Autónoma de Querétaro]. <https://ri-ng.uaq.mx/handle/123456789/11047>
- Araújo, M. F., Castanheira, E. M. S., & Sousa, S. F. (2023). The Buzz on Insecticides: A Review of Uses, Molecular Structures, Targets, Adverse Effects, and Alternatives. *Molecules*, *28*(8), 3641. <https://doi.org/10.3390/molecules28083641>
- Asgarpanah, J., & Ramezanloo, F. (2015). An overview on phytopharmacology of *Pelargonium graveolens* L. *Indian Journal of Traditional Knowledge*, *14*(4), 558-563.
- Aurochemicals. (2023). *Citronellol—Safety Data Sheet*. <https://www.aurochemicals.com/wp-content/uploads/2019/05/Citronellol-Natural-SDS-1.pdf>
- Baker, B. P., Green, T. A., & Loker, A. J. (2020). Biological control and integrated pest management in organic and conventional systems. *Biological Control*, *140*, 104095.
<https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2019.104095>
- Bakkali, F., Averbeck, S., Averbeck, D., & Idaomar, M. (2008). Biological effects of essential oils – A review. *Food and Chemical Toxicology*, *46*(2), 446-475.
<https://doi.org/10.1016/j.fct.2007.09.106>

- Baş, H., & 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), Article 2. <https://doi.org/10.16970/entoted.656071>
- Blerot, B., Baudino, S., Prunier, C., Demarne, F., Toulemonde, B., & Caissard, J. C. (2015). Botany, agronomy and biotechnology of *Pelargonium* used for essential oil production. *Phytochemistry Reviews* 2015 15:5, 15(5), 935-960. <https://doi.org/10.1007/S11101-015-9441-1>
- Boncan, D. A. T., Tsang, S. S. K., Li, C., Lee, I. H. T., Lam, H.-M., Chan, T.-F., & Hui, J. H. L. (2020). Terpenes and Terpenoids in Plants: Interactions with Environment and Insects. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(19), Article 19. <https://doi.org/10.3390/ijms21197382>
- Boukhris, M., Ben Nasri-Ayachi, M., Mezghani, I., Bouaziz, M., Boukhris, M., & Sayadi, S. (2013). Trichomes morphology, structure and essential oils of *Pelargonium graveolens* L'Hér. (Geraniaceae). *Industrial Crops and Products*, 50, 604-610. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.08.029>
- Boukhris, M., Simmonds, M. S. J., Sayadi, S., & Bouaziz, M. (2013). Chemical Composition and Biological Activities of Polar Extracts and Essential Oil of Rose-scented Geranium, *Pelargonium graveolens*. *Phytotherapy Research*, 27(8), 1206-1213. <https://doi.org/10.1002/ptr.4853>
- Buchbauer, G. (2009). Chapter 9: Biological Activities of Essential Oils. En K. H. C. Baser & G. Buchbauer (Eds.), *Handbook of Essential Oils: Science, Technology, and Applications* (pp. 235-280). CRC Press.

- CEDRSSA. (2020). *Distribución de Granos Básicos: Lugar de Adquisición o Compra*. Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria.
http://www.cedrssa.gob.mx/files/b/13/6Distribucio%CC%81n_granos_ba%CC%81sicos.pdf
- Chen, W., & Viljoen, A. M. (2010). Geraniol—A review of a commercially important fragrance material. *South African Journal of Botany*, 76(4), 643-651.
<https://doi.org/10.1016/j.sajb.2010.05.008>
- Cotton, R. T. (1929). *The Meal Worms*. <https://doi.org/10.22004/ag.econ.156679>
- Cotton, R. T. (1940). *Mealworms*. U.S. Government Printing Office.
- Devi, T. B., Raina, V., Sahoo, D., & Rajashekar, Y. (2021). Chemical composition and fumigant toxicity of the essential oil from *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Grey against two major stored grain insect pests. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 128(2), 607-615.
<https://doi.org/10.1007/s41348-020-00424-9>
- Díaz, E., Albino, S., & Guillén, A. (2021, agosto 3). *Tenebrios: Viscosos ¡pero sabrosos!*
<https://inecol.mx/inecol/index.php/es/component/content/article/17-ciencia-hoy/1436-tenebrios-viscosos-pero-sabrosos>
- Ebrahimifar, J., Jamshidnia, A., Sadeghi, R., & Ebadollahi, A. (2021). Repellency of *Ferulago angulata* (Schlecht.) Boiss essential oil on two major stored-product insect pests without effect on wheat germination. *International Journal of Tropical Insect Science*, 41(1), 217-223. <https://doi.org/10.1007/s42690-020-00195-8>
- Erenstein, O., Jaleta, M., Sonder, K., Mottaleb, K., & Prasanna, B. M. (2022). Global maize production, consumption and trade: Trends and R&D implications. *Food Security*, 14(5), 1295-1319. <https://doi.org/10.1007/s12571-022-01288-7>

- Essiedu, J. A., Adepoju, F. O., & Ivantsova, M. N. (2020). Benefits and limitations in using biopesticides: A review. *AIP Conference Proceedings*, 2313(1), 080002.
<https://doi.org/10.1063/5.0032223>
- FAO, & Hilario, J. M. (1992). Storage pests and their control manual. En *Towards integrated commodity and pest management in grain storage*.
<https://www.fao.org/4/x5048e/x5048E0p.htm>
- Gad, H. A., Hamza, A. F., & Abdelgaleil, S. A. M. (2022). Chemical composition and fumigant toxicity of essential oils from ten aromatic plants growing in Egypt against different stages of confused flour beetle, *Tribolium confusum* Jacquelin du Val. *International Journal of Tropical Insect Science*, 42(1), 697-706. <https://doi.org/10.1007/s42690-021-00592-7>
- Gallardo, A., Picollo, M. I., González-Audino, P., & Mougabure-Cueto, G. (2012). Insecticidal Activity of Individual and Mixed Monoterpenoids of Geranium Essential Oil Against *Pediculus humanus capitis* (Phthiraptera: Pediculidae). *Journal of Medical Entomology*, 49(2), 332-335. <https://doi.org/10.1603/ME11142>
- González-Chávez, M. M., Cárdenas-Ortega, N. C., Méndez-Ramos, C. A., & Pérez-Gutiérrez, S. (2011). Fungicidal Properties of the Essential Oil of *Hesperozygis marifolia* on *Aspergillus flavus* Link. *Molecules*, 16(3), Article 3. <https://doi.org/10.3390/molecules16032501>
- Hagstrum, David., & Subramabyam, B. (2013). *Atlas of stored-product insects and mites*. AACC International.
- Hanif, M. A., Nisar, S., Khan, G. S., Mushtaq, Z., & Zubair, M. (2019). Essential Oils. En S. Malik (Ed.), *Essential Oil Research: Trends in Biosynthesis, Analytics, Industrial Applications and Biotechnological Production* (pp. 3-17). Springer International Publishing.
https://doi.org/10.1007/978-3-030-16546-8_1

- Hikal, W. M., Baeshen, R. S., & Said-Al Ahl, H. A. H. (2017). Botanical insecticide as simple extractives for pest control. *Cogent Biology*, 3(1), 1404274.
<https://doi.org/10.1080/23312025.2017.1404274>
- Houseman, R. M. (2006). *Insect Pests of Stored Products | MU Extension*.
<https://extension.missouri.edu/publications/g7370>
- Howard, R. S. (1955). The Biology of the Grain Beetle *Tenebrio Molitor* with Particular Reference to Its Behavior. *Ecology*, 36(2), 262-269. <https://doi.org/10.2307/1933231>
- Irshad, M., Subhani, M. A., Ali, S., Hussain, A., Irshad, M., Subhani, M. A., Ali, S., & Hussain, A. (2019). Biological Importance of Essential Oils. En *Essential Oils—Oils of Nature*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.87198>
- ITIS. (2023). *ITIS - Report: Tenebrio molitor*.
https://www.itis.gov/servlet/SingleRpt/SingleRpt?search_topic=TSN&search_value=187243#null
- Jaradat, N., Hawash, M., Qadi, M., Abualhasan, M., Odetallah, A., Qasim, G., Awaysa, R., Akkawi, A., Abdullah, I., & Al-Maharik, N. (2022). Chemical Markers and Pharmacological Characters of *Pelargonium graveolens* Essential Oil from Palestine. *Molecules*, 27(17), Article 17. <https://doi.org/10.3390/molecules27175721>
- Jugreet, B. S., Mahomoodally, F. M., Zengin, G., & Maggi, F. (2021). Essential Oils as Natural Sources of Fragrance Compounds for Cosmetics and Cosmeceuticals. *Molecules*, 26(3), Article 3. <https://doi.org/10.3390/molecules26030666>
- Jugreet, B. S., Suroowan, S., Rengasamy, R. R. K., & Mahomoodally, M. F. (2020). Chemistry, bioactivities, mode of action and industrial applications of essential oils. *Trends in Food Science & Technology*, 101, 89-105. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.04.025>

- Kabera, J., Gasogo, A., Uwamariya, A., Ugirinshuti, V., & Nyetera, P. (2011). *Insecticidal effects of essential oils of Pelargonium graveolens and Cymbopogon citratus on Sitophilus zeamais (Motsch.)*.
- Kardan-Yamchi, J., Mahboubi, M., Kazemian, H., Hamzelou, G., & Feizabadi, M. M. (s. f.). The Chemical Composition and Anti-mycobacterial Activities of Trachyspermum copticum and Pelargonium graveolens Essential Oils. *Http://Www.Eurekaselect.Com*. Recuperado 1 de mayo de 2023, de <https://www.eurekaselect.com/article/101951>
- Kardan-Yamchi, J., Mahboubi, M., Kazemian, H., Hamzelou, G., & Feizabadi, M. M. (2019). The Chemical Composition and Anti-mycobacterial Activities of Trachyspermum copticum and Pelargonium graveolens Essential Oils. *Recent Patents on Anti-Infective Drug Discovery*, 15(1), 68-74. <https://doi.org/10.2174/1574891X14666191028113321>
- Kaur, G., Ganjewala, D., Bist, V., & Verma, P. C. (2019). Antifungal and larvicidal activities of two acyclic monoterpenes; citral and geraniol against phytopathogenic fungi and insects. *Archives of Phytopathology and Plant Protection*, 52(5-6), 458-469. <https://doi.org/10.1080/03235408.2019.1651579>
- Kavallieratos, N. G., Nika, E. P., Skourti, A., Ntalli, N., Boukouvala, M. C., Ntalaka, C. T., Maggi, F., Rakotosaona, R., Cespi, M., Perinelli, D. R., Canale, A., Bonacucina, G., & Benelli, G. (2021). Developing a Hazomalania voyronii Essential Oil Nanoemulsion for the Eco-Friendly Management of Tribolium confusum, Tribolium castaneum and Tenebrio molitor Larvae and Adults on Stored Wheat. *Molecules*, 26(6), Article 6. <https://doi.org/10.3390/molecules26061812>
- Kavallieratos, N. G., Nika, E. P., Skourti, A., Spinuzzi, E., Ferrati, M., Petrelli, R., Maggi, F., & Benelli, G. (2022). Carlina acaulis essential oil: A candidate product for agrochemical industry due

to its pesticidal capacity. *Industrial Crops and Products*, 188, 115572.

<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.115572>

Lee, M. Y. (2018). Essential Oils as Repellents against Arthropods. *BioMed Research International*, 2018(1), 6860271. <https://doi.org/10.1155/2018/6860271>

Lorigooini, Z., Jamshidi-kia, F., & Dodman, S. (2020). Chapter 8—Analysis of sesquiterpenes and sesquiterpenoids. En A. Sanches Silva, S. F. Nabavi, M. Saeedi, & S. M. Nabavi (Eds.), *Recent Advances in Natural Products Analysis* (pp. 289-312). Elsevier.

<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816455-6.00008-1>

Mączka, W., Wińska, K., & Grabarczyk, M. (2020). One Hundred Faces of Geraniol. *Molecules*, 25(14), Article 14. <https://doi.org/10.3390/molecules25143303>

Mariod, A. A., & Tahir, H. E. (2022). Chapter 2—Biological activities, definition, types and measurements. En A. A. Mariod (Ed.), *Multiple Biological Activities of Unconventional Seed Oils* (pp. 17-28). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-824135-6.00013-1>

Martínez, L. C., Plata-Rueda, A., Colares, H. C., Campos, J. M., Santos, M. H. D., Fernandes, F. L., Serrão, J. E., & Zanuncio, J. C. (2018). Toxic effects of two essential oils and their constituents on the mealworm beetle, *Tenebrio molitor*. *Bulletin of Entomological Research*, 108(6), 716-725. <https://doi.org/10.1017/S0007485317001262>

M'hamdi, Z., Davi, F., Elhourri, M., Amechrouq, A., Mondello, F., Cacciola, F., Laganà Vinci, R., Mondello, L., Miceli, N., & Taviano, M. F. (2024). Phytochemical Investigations, Antioxidant and Insecticidal Properties of Essential Oil and Extracts from the Aerial Parts of *Pelargonium graveolens* from Morocco. *Molecules*, 29(17), Article 17. <https://doi.org/10.3390/molecules29174036>

- Mishra, B. B., Tripathi, C., Bhuwan Bhaskar Mishra, C., & Tripathi, S. (2016). Biocontrol View project Impact of *Syzygium aromaticum* (L.) essential oil as fumigant against *Tribolium castaneum* (Coleoptera: Tenebrionidae). *Article in JOURNAL OF ENTOMOLOGY AND ZOOLOGY STUDIES*, 4(6). <https://www.researchgate.net/publication/312198660>
- Mobolade, A. J., Bunindro, N., Sahoo, D., & Rajashekar, Y. (2019). Traditional methods of food grains preservation and storage in Nigeria and India. *Annals of Agricultural Sciences*, 64(2), 196-205. <https://doi.org/10.1016/j.aos.2019.12.003>
- Moore, H. E. (1943). *A revision of the genus Geranium in Mexico and Central America. Contr. Gray Herb.* (Vol. 146, pp. 1-108).
- Moruzzo, R., Riccioli, F., Espinosa Diaz, S., Secci, C., Poli, G., & Mancini, S. (2021). Mealworm (*Tenebrio molitor*): Potential and Challenges to Promote Circular Economy. *Animals*, 11(9), Article 9. <https://doi.org/10.3390/ani11092568>
- Moullamri, M., Rharrabe, K., Annaz, H., Laglaoui, A., Alibrando, F., Cacciola, F., Mondello, L., Bouayad, N., Zantar, S., & Bakkali, M. (2024). *Salvia officinalis*, *Lavandula angustifolia*, and *Mentha pulegium* essential oils: Insecticidal activities and feeding deterrence against *Plodia interpunctella* (Lepidoptera: Pyralidae). *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 27(1), 16-33. <https://doi.org/10.1080/0972060X.2023.2301699>
- Naturalist. (2023). *Tenebrio molitor* · *iNaturalist Mexico*. <https://mexico.inaturalist.org/taxa/131970-Tenebrio-molitor>
- NCI. (2024). *NCI Dictionaries—NCI* (nciglobal,ncicenterprise) [cgvMiniLanding]. <https://www.cancer.gov/publications/dictionaries>
- Niculau, E. dos S., Alves, P. B., Nogueira, P. C. de L., Moraes, V. R. de S., Matos, A. P., Bernardo, A. R., Volante, A. C., Fernandes, J. B., Silva, M. F. G. F. da, Corrêa, A. G., Blank, A. F., Silva, A.

- de C., & Ribeiro, L. do P. (2013). Atividade inseticida de óleos essenciais de *Pelargonium graveolens* L'Herit e *Lippia alba* (Mill) N. E. Brown sobre *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith). *Química Nova*, 36, 1391-1394. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422013000900020>
- Nikolić, M., Marković, T., Marković, D., Calhelha, R. C., Fernandes, Â., Ferreira, I. C. F. R., Stojković, D., Ćirić, A., Glamočlija, J., & Soković, M. (2021). Chemical composition and biological properties of *Pelargonium graveolens*, *Leptospermum petersonii* and *Cymbopogon martinii* var. *Motia* essential oils and of *Rosa centifolia* absolute. *Journal of the Serbian Chemical Society*, 86(12), 1291-1303. <https://doi.org/10.2298/JSC210729096N>
- Ninkuu, V., Zhang, L., Yan, J., Fu, Z., Yang, T., & Zeng, H. (2021). Biochemistry of Terpenes and Recent Advances in Plant Protection. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(11), Article 11. <https://doi.org/10.3390/ijms22115710>
- Noriega, P. (2021). Chapter 2—Terpenes in Essential Oils: Bioactibity and Applications. En S. Perveen & A. M. Al-Taweel (Eds.), *Terpenes and Terpenoids: Recent Advances* (Vol. 21, pp. 13-26). IntechOpen. https://books.google.com.mx/books?id=zwc_EAAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_atb#v=onepage&q&f=false
- OECD. (2022). *OECD-FAO Agricultural Outlook 2022-2031*. Organisation for Economic Co-operation and Development. https://www.oecd-ilibrary.org/agriculture-and-food/oecd-fao-agricultural-outlook-2022-2031_f1b0b29c-en
- Oyedeki, A. O., Okunowo, W. O., Osuntoki, A. A., Olabode, T. B., & Ayo-folorunso, F. (2020). Insecticidal and biochemical activity of essential oil from *Citrus sinensis* peel and

- constituents on *Callosobrunchus maculatus* and *Sitophilus zeamais*. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 168, 104643. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2020.104643>
- Park, J. B., Choi, W. H., Kim, S. H., Jin, H. J., Han, Y. S., Lee, Y. S., & Kim, N. J. (2014). Developmental characteristics of *Tenebrio molitor* larvae (Coleoptera: Tenebrionidae) in different instars. *International Journal of Industrial Entomology and Biomaterials*, 28(1), 5-9. <https://doi.org/10.7852/ijie.2014.28.1.5>
- Paulino, B. N., Silva, G. N. S., Araújo, F. F., Néri-Numa, I. A., Pastore, G. M., Bicas, J. L., & Molina, G. (2022). Beyond natural aromas: The bioactive and technological potential of monoterpenes. *Trends in Food Science & Technology*, 128, 188-201. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.08.006>
- Persistence, M. R. (2024). *Essential Oils Market Size & Growth Analysis Report, 2032*. Persistence Market Research. <https://www.persistencemarketresearch.com/market-research/essential-oils-market.asp>
- Perveen, S. (2018). Introductory Chapter. En S. Perveen & A. Al-Taweel (Eds.), *Terpenes and Terpenoids*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.79683>
- Petrović, M., Popovic, A., Kojić, D., Šučur Elez, J., Bursic, V., Acimovic, M., Malenčić, Đ., Stojanović, T., & Vukovic, G. (2019). Assessment of toxicity and biochemical response of *Tenebrio molitor* and *Tribolium confusum* exposed to *Carum carvi* essential oil. *Entomologia Generalis*, 38, 333-348. <https://doi.org/10.1127/entomologia/2019/0697>
- Plata-Rueda, A., Martínez, L. C., Santos, M. H. D., Fernandes, F. L., Wilcken, C. F., Soares, M. A., Serrão, J. E., & Zanuncio, J. C. (2017). Insecticidal activity of garlic essential oil and their constituents against the mealworm beetle, *Tenebrio molitor* Linnaeus (Coleoptera: Tenebrionidae). *Scientific Reports*, 7(1), 46406. <https://doi.org/10.1038/srep46406>

- Plata-Rueda, A., Zanzunio, J. C., Serrão, J. E., & Martínez, L. C. (2021). Origanum vulgare Essential Oil against Tenebrio molitor (Coleoptera: Tenebrionidae): Composition, Insecticidal Activity, and Behavioral Response. *Plants*, *10*(11), Article 11.
<https://doi.org/10.3390/plants10112513>
- Raafat, H., Keratum, A., Abouelatta, A., El-Zun, H., Hafez, Y., & Abdelaal, K. (2022). Fumigant and contact toxicity of some essential components against three stored product insects. *Fresenius Environmental Bulletin*, *31*, 10136-10143.
- Rajkumar, V., Gunasekaran, C., Christy, I. K., Dharmaraj, J., Chinnaraj, P., & Paul, C. A. (2019). Toxicity, antifeedant and biochemical efficacy of Mentha piperita L. essential oil and their major constituents against stored grain pest. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, *156*, 138-144. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2019.02.016>
- Ramayo-Ramírez, J. O. (2016). Identificación y control de insectos en granos almacenados. *Claridades Agropecuarias*, *271*, 21-33.
- Rana, V. S., Juyal, J. P., & Amparo Blazquez, M. (2002). Chemical constituents of essential oil of Pelargonium graveolens leaves. *International Journal of Aromatherapy*, *12*(4), 216-218.
[https://doi.org/10.1016/S0962-4562\(03\)00003-1](https://doi.org/10.1016/S0962-4562(03)00003-1)
- Regnault-Roger, C., Vincent, C., & Arnason, J. T. (2012). Essential oils in insect control: Low-risk products in a high-stakes world. *Annual Review of Entomology*, *57*, 405-424.
<https://doi.org/10.1146/annurev-ento-120710-100554>
- Rosentrater, K. A. (2022). Chapter 21 - Insects in grains: Identification, damage, and detection. En K. A. Rosentrater (Ed.), *Storage of Cereal Grains and Their Products (Fifth Edition)* (pp. 607-646). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812758-2.00014-3>

- Rzedowski, J., & Rzedowski, G. C. de. (1995). FAMILIA GERANIACEAE. En *Flora del Bajío*. Flora del Bajío. <https://doi.org/10.21829/fb.240.1995.40>
- Selaledi, L., Mbajjorgu, C. A., & Mabelebele, M. (2020). The use of yellow mealworm (*T. molitor*) as alternative source of protein in poultry diets: A review. *Tropical Animal Health and Production*, *52*(1), 7-16. <https://doi.org/10.1007/s11250-019-02033-7>
- Sfara, V., Zerba, E. N., & Alzogaray, R. A. (2009). Fumigant Insecticidal Activity and Repellent Effect of Five Essential Oils and Seven Monoterpenes on First-Instar Nymphs of *Rhodnius prolixus*. *Journal of Medical Entomology*, *46*(3), 511-515. <https://doi.org/10.1603/033.046.0315>
- Singh, B., & Sharma, R. A. (2015). Plant terpenes: Defense responses, phylogenetic analysis, regulation and clinical applications. *3 Biotech*, *5*(2), 129-151. <https://doi.org/10.1007/s13205-014-0220-2>
- Singh, K. D., Mobolade, A. J., Bharali, R., Sahoo, D., & Rajashekar, Y. (2021). Main plant volatiles as stored grain pest management approach: A review. *Journal of Agriculture and Food Research*, *4*, 100127. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2021.100127>
- Stenberg, J. A., Sundh, I., Becher, P. G., Björkman, C., Dubey, M., Egan, P. A., Friberg, H., Gil, J. F., Jensen, D. F., Jonsson, M., Karlsson, M., Khalil, S., Ninkovic, V., Rehmann, G., Vetukuri, R., & Viketoft, M. (2021). When is it biological control? A framework of definitions, mechanisms, and classifications. *Journal of Pest Science*, *94*(3), 665-676. <https://doi.org/10.1007/s10340-021-01354-7>
- Thangaleela, S., Sivamaruthi, B. S., Kesika, P., Bharathi, M., Kunaviktikul, W., Klunklin, A., Chanthapoon, C., & Chaiyasut, C. (2022). Essential Oils, Phytoncides, Aromachology, and

- Aromatherapy—A Review. *Applied Sciences*, 12(9), Article 9.
<https://doi.org/10.3390/app12094495>
- Tropicos. (2023, marzo 31). *Pelargonium graveolens L'Hér. Ex Aiton*. Tropicos.
<http://legacy.tropicos.org/Name/13900169>
- Vázquez-Badillo, M. E., & Moreno-Martínez, E. (2016). Poscosecha de Granos. *Claridades Agropecuarias*, 271, 3-6.
- Wang, J., Zheng, Q., Wang, H., Shi, L., Wang, G., Zhao, Y., Fan, C., & Si, J. (2024). Sesquiterpenes and Sesquiterpene Derivatives from *Ferula*: Their Chemical Structures, Biosynthetic Pathways, and Biological Properties. *Antioxidants*, 13(1), Article 1.
<https://doi.org/10.3390/antiox13010007>
- Wang, X., Hao, Q., Chen, Y., Jiang, S., Yang, Q., & Li, Q. (2015). The Effect of Chemical Composition and Bioactivity of Several Essential Oils on *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae). *Journal of Insect Science*, 15(1), 116. <https://doi.org/10.1093/jisesa/iev093>
- Wise, M. L., & Croteau, R. (1999). 2.05—Monoterpene Biosynthesis. En S. D. Barton, K. Nakanishi, & O. Meth-Cohn (Eds.), *Comprehensive Natural Products Chemistry* (pp. 97-153). Pergamon. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-091283-7.00038-2>
- Wojtunik-Kulesza, K. A. (2022). Toxicity of Selected Monoterpenes and Essential Oils Rich in These Compounds. *Molecules*, 27(5), Article 5. <https://doi.org/10.3390/molecules27051716>
- Wrigley, C. W., Corke, H., Seetharaman, K., & Faubion, J. (2015). *Encyclopedia of Food Grains*. Academic Press.
- Yildirim, E., Emsen, B., & Kordali, S. (2013). Insecticidal Effects of Monoterpenes on *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleoptera: Curculionidae). *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 86. <https://doi.org/10.5073/JABFQ.2013.086.027>

Zhou, S., & Jander, G. (2022). Molecular ecology of plant volatiles in interactions with insect herbivores. *Journal of Experimental Botany*, 73(2), 449-462.
<https://doi.org/10.1093/jxb/erab413>