



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE INVESTIGACIÓN
PARA EL DESARROLLO INTEGRAL REGIONAL
UNIDAD DURANGO

Evaluación de la actividad insecticida de *Lippia graveolens* y *Eucalyptus cinerea* sobre *Cimex lectularius*

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS EN GESTIÓN AMBIENTAL

PRESENTA

Saúl Rodríguez Cisneros

DIRECTORES:

M.C. Martha Celina González Güereca

Dr. Isaías Chaírez Hernández

Durango Durango, México.

noviembre de 2025





INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO
Dirección de Posgrado

**ACTA DE REGISTRO DE TEMA DE TESIS
Y DESIGNACIÓN DE DIRECTOR DE TESIS**

Ciudad de México, a 09 de junio del 2025

El Colegio de Profesores de Posgrado de IPN CIIDIR Unidad Durango en su Sesión

(Unidad Académica)

Ordinaria No. 5 celebrada el día 06 del mes junio de 2025, conoció la solicitud presentada por el (la) alumno (a):

Apellido Paterno:	Rodríguez	Apellido Materno:	Cisneros	Nombre (s):	Saúl
-------------------	-----------	-------------------	----------	-------------	------

Número de boleta: B 2 3 1 2 4 6

del Programa Académico de Posgrado: Maestría en Ciencias en Gestión Ambiental

Referente al registro de su tema de tesis

1.- Se acordó aprobar el tema de tesis:

Evaluación de la actividad insecticida de *Lippia graveolens* y *Eucalyptus cinerea* sobre *Cimex lectularius*

Objetivo general del trabajo de tesis:

Evaluar el efecto insecticida de los aceites esenciales de *Lippia graveolens* y *Eucalyptus cinerea* sobre *Cimex lectularius*.

2.- Se designa como Directores de Tesis a los profesores:

Director: M. en C. Martha Celina González Güereca Director: Dr. Isaias Chairez Hernández

No aplica:

3.- El Trabajo de investigación base para el desarrollo de la tesis será elaborado por el alumno en:

IPN CIIDIR UNIDAD DURANGO

que cuenta con los recursos e infraestructura necesarios.

4.- El interesado deberá asistir a los seminarios desarrollados en el área de adscripción del trabajo desde la fecha en que se suscribe la presente, hasta la aprobación de la versión completa de la tesis por parte de la Comisión Revisora correspondiente.

Director(a) de Tesis

M. en C. Martha Celina González Güereca

Alumno

Saúl Rodríguez Cisneros

Director de Tesis (en su caso)

Dr. Isaias Chairez Hernández

Presidente del Colegio

Dr. Eduardo Sánchez Ortiz





INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO
 Dirección de Posgrado

SIP-14
 REP 2017

ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de Durango, Dgo. siendo las 10:00 horas del día 06 del mes de noviembre del 2025 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de la Tesis, designada por el Colegio de Profesores de Posgrado de: IPN CIIDIR Unidad Durango para examinar la tesis titulada:

Evaluación de la actividad insecticida de *Lippia graveolens* y *Eucalyptus cinerea* sobre *Cimex lectularius* del (la) alumno (a):

Apellido Paterno:	Rodriguez	Apellido Materno:	Cisneros	Nombre (s):	Saúl
--------------------------	-----------	--------------------------	----------	--------------------	------

Número de boleta: B 2 3 1 2 4 6

Alumno del Programa Académico de Posgrado: Maestría en Ciencias en Gestión Ambiental

Una vez que se realizó un análisis de similitud de texto, utilizando el software antiplagio, se encontró que el trabajo de tesis tiene 5 % de similitud. **Se adjunta reporte de software utilizado.**

Después que esta Comisión revisó exhaustivamente el contenido, estructura, intención y ubicación de los textos de la tesis identificados como coincidentes con otros documentos, concluyó que en el presente trabajo SI NO **SE CONSTITUYE UN POSIBLE PLAGIO.**

JUSTIFICACIÓN DE LA CONCLUSIÓN: *(Por ejemplo, el % de similitud se localiza en metodologías adecuadamente referidas a fuente original)*

Dado que la tesis cumple con los estándares establecidos, dado un 5 % de similitud, que corresponde a textos debidamente citados o listados descriptivos de métodos y un 0 % de uso de inteligencia artificial, concluimos que es aceptable para que el alumno defienda su trabajo.

Finalmente y posterior a la lectura, revisión individual, así como el análisis e intercambio de opiniones, los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR** **SUSPENDER** **NO APROBAR** la tesis por **UNANIMIDAD** o **MAYORÍA** en virtud de los motivos siguientes:

El alumno, concluyo el trabajo del proyecto y cumplió con los objetivos planteados en este trabajo.

COMISIÓN REVISORA DE TESIS

M. en C. Martha Celina
 González Güereca

Director de Tesis
 Nombre completo y firma

Dr. Isaias Cháirez Hernández

2° Director de Tesis (en su caso)
 Nombre completo y firma

M. en C. Lorena López
 Enriquez

Nombre completo y firma

M. en C. Daniel Ochoa García

Nombre completo y firma

Dr. Jesús Guadalupe González
 Gallegos

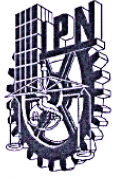
Nombre completo y firma

Dr. Eduardo Sánchez Ortíz

Nombre completo y firma
 PRESIDENTE DEL COLEGIO DE
 PROFESORES



CENTRO INTERDISCIPLINARIO
 DE INVESTIGACIÓN PARA EL
 DESARROLLO INTEGRAL REGIONAL
 IPN CIIDIR DURANGO



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA DE AUTORIZACIÓN DE USO DE OBRA PARA DIFUSIÓN

En la Ciudad de Durango, Dgo., el día **19** del mes de **noviembre** del año **2025**, el (la) que suscribe **Saúl Rodríguez Cisneros** alumno(a) del programa **Maestría en Ciencias en Gestión Ambiental** con número de registro **B231246**, adscrito(a) a **IPN CIIDIR Unidad Durango** manifiesta que es autor(a) intelectual del presente trabajo de tesis bajo la dirección de **M. en C. Martha Celina González Güereca** y el **Dr. Isaías Chairez Hernández** y cede los derechos del trabajo intitulado **Evaluación de la actividad insecticida de *Lippia graveolens* y *Eucalyptus cinerea* sobre *Cimex lectularius***, al Instituto Politécnico Nacional, para su difusión con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expresado del autor y/o director(es). Este puede ser obtenido escribiendo a las siguiente(s) dirección(es) de correo **celina.ciidirngo@gmail.com**, **ichairez@hotmail.com** y **sauroos64@gmail.com**. Si el permiso se otorga, al usuario deberá dar agradecimiento correspondiente y citar la fuente de este.

Saúl Rodríguez Cisneros

Nombre completo y firma autógrafa del (de la)
estudiante

DEDICATORIA

A mis padres Paty y Miguel: su apoyo fue de gran ayuda en el transcurso de este posgrado, palabras de ánimo que me incitaban a no rendirme y seguir adelante. Gracias por el apoyo constante en mis actividades que me impulsaron a llegar hasta aquí. Los quiero mucho.

A mi novia Gaby: por su paciencia, su fe en mí y su compañía que me ha sido de mucha ayuda en diferentes momentos de la maestría. Gracias por estar a mi lado.

A mi hermano Víctor: por su gran apoyo en mi trabajo de campo, gracias por tu compañía y por siempre estar dispuesto para apoyarme.

A mis amigos y compañeros: sus palabras de ánimo fueron un soporte extra en el transcurso de la maestría, gracias por estar siempre ahí.

A mis profesores y mentores, los cuales tuve la gran oportunidad de conocer y compartir ideas que fueron de gran ayuda en este trabajo, gracias por completar mi formación académica en este posgrado, excelentes catedráticos.

A Dios por siempre estar a mi lado, por darme fuerzas y paciencia para poder concluir este posgrado, diversas situaciones pasaron, pero su gran compañía me ayudo a levantarme siempre y seguir adelante.

Saúl Rodríguez Cisneros

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, a Dios, sin él no podría tener las fuerzas suficientes para lograr muchas cosas, su gran compañía ha estado siempre en mi vida y agradezco infinitamente todo lo que me ha dado.

Al Instituto Politécnico Nacional CIIDIR Unidad Durango, por abrirme sus puertas y la accesibilidad de todo el personal que lo conforma.

Al CONAHCYT por la beca otorgada que me ayudó a concluir mi posgrado.

A la M. en C. Martha Celina González Güereca, Dr. Isaías Chairez Hernández, M. en C. Irma Lorena López Enríquez, M. en C. Daniel Ochoa García y Dr. Jesús Guadalupe González Gallegos, miembros de mi comité tutorial. También agradecer al Biol. Gerardo Antonio Hinojosa Ontiveros, gracias por su apoyo y accesibilidad.

A los diferentes investigadores del CIIDIR Unidad Durango, por su apoyo y por compartir su valioso conocimiento, ya sea en clases o de manera personal.

A mis amigos y compañeros de maestría, por su gran apoyo en diferentes actividades y por pasar momentos únicos en los trabajos de campo.

Agradezco profundamente a las familias y personas que, con gran disposición y confianza, me abrieron las puertas en sus hogares y colaboraron activamente en este trabajo. Su participación en la recolección de muestras y en la aplicación de los tratamientos naturales fue fundamental para el desarrollo de esta investigación. Sin su apoyo y compromiso, este estudio no habría sido posible.

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
INDICE DE CUADROS.....	xiii
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT.....	xv
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. ANTECEDENTES.....	3
2.1 Origen y distribución de <i>C. lectularius</i>	3
2.2 Mecanismos de desplazamiento de <i>C. lectularius</i>	3
2.3 Alimentación.....	4
2.4 Biología de <i>C. lectularius</i>	5
2.5 Mecanismo de resistencia a insecticidas químicos.....	6
2.6 Problemática mundial.....	7
2.7 Métodos de control.....	8
2.7.1 Control químico.....	8
2.7.2 Control físico.....	9
2.7.3 Control alternativo con productos orgánicos.....	9
2.7.4 Estudios de actividad insecticida de plantas aromáticas sobre <i>C. lectularius</i>	11
3. JUSTIFICACIÓN.....	13
4. OBJETIVOS.....	15
4.1 Objetivo general.....	15
4.2 Objetivos específicos.....	15
5. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN.....	16
6. MATERIALES Y MÉTODOS.....	17
6.1 Sitios de recolección del material botánico.....	17

6.2	Procesamiento de material botánico	18
6.3	Obtención de aceites esenciales	19
6.4	Preparación de soluciones de prueba	19
6.5	Recolección de material biológico	19
6.6	Establecimiento de cría estandarizada de <i>C. lectularius</i>	20
6.7	Fuente de alimentación de chinches	21
6.8	Realización de bioensayos <i>in vitro</i>	22
6.8.1	Método de difusión	22
c)	Realización del bioensayo	23
6.8.2	Método de aspersion	25
c)	Realización del bioensayo	25
6.9	Análisis estadístico	27
7.	RESULTADOS.....	29
7.1	Cría estandarizada de <i>C. lectularius</i>	29
7.2	Obtención de aceites esenciales	29
7.3	Bioensayo <i>in vitro</i> . Método de Difusión	30
7.3.1	Análisis	30
7.3.2	Análisis de covarianza (ANCOVA).....	31
7.3.3	Análisis de supervivencia. Método no paramétrico de Kaplan- Meier	32
7.3.4	Determinación de la DL ₅₀ para <i>L. graveolens</i>	33
7.3.5	Determinación de la DL ₅₀ para <i>E. cinerea</i>	34
7.3.6	Análisis de sobrevivencia por grupos de estadios	35
7.4	Bioensayo <i>in vitro</i> . Método de Aspersion	37
7.4.1	Análisis descriptivo	37
7.4.2	Análisis de covarianza (ANCOVA).....	38

7.4.3 Análisis de supervivencia. Método no paramétrico de Kaplan-Meier	39
7.4.4 Determinación de la DL ₅₀ para <i>L. graveolens</i>	41
7.4.5 Determinación de la DL ₅₀ para <i>E. cinerea</i>	42
7.4.6 Análisis de supervivencia por grupos de estadios	43
8. DISCUSIÓN	45
9. CONCLUSIONES	48
10. LITERATURA CITADA.....	50

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ciclo de vida, metamorfosis incompleta de <i>C. lectularius</i> . Fuente: (López-Uribe <i>et al.</i> , 2020).....	5
Figura 2. <i>Cimex lectularius</i> , diferencia entre hembra y macho (Elaboración propia).	6
Figura 3. Estructura química de deltametrina (1), cipermetrina (2) e imidacloprid (3).	9
Figura 4. Sitios de recolecta de orégano y eucalipto dólar en Durango.	17
Figura 5. Recolecta de <i>Eucalyptus cinerea</i> , material fresco y proceso de secado.	18
Figura 6. Recolecta de <i>Lippia graveolens</i> , proceso de secado y limpieza.	18
Figura 7. Material seco y equipo de acero inoxidable para el destilado de arrastre con vapor.	19
Figura 8. Materiales para recolecta de chinches (aspiradora de insectos, pinceles y envase con etiqueta).	20
Figura 9. Cámara de cría para <i>Cimex lectularius</i>	21
Figura 10. Fuentes de alimento para <i>Cimex lectularius</i> (Conejo Nueva Zelanda y rata Wistar).	21
Figura 11. Proceso de alimentación de <i>Cimex lectularius</i> sobre conejo (1) y rata (2).	22
Figura 12. Colocación de chinches y el cubo para el bioensayo por difusión.	24
Figura 13. Proceso de método de aspersión.....	26
Figura 14. Diferentes estadios pertenecientes a la 2da generación de la cría.	29
Figura 15. Histogramas de distribución normal de las variables analizadas.	30
Figura 16. ANCOVA de la variable dependiente (tiempo final) con los diferentes factores, donde se muestra que sí hay diferencias significativas entre las diluciones aplicadas y los controles.	32
Figura 17. Análisis de sobrevivencia de Kaplan-Meier por el método de difusión.	33
Figura 18. Análisis Probit del tratamiento con aceite esencial de <i>Lippia graveolens</i> por el método de difusión.	34
Figura 19. Análisis Probit del tratamiento con aceite esencial de <i>Eucalyptus cinerea</i> por el método de difusión.	35

Figura 20. Análisis de supervivencia por estadios (grupo I, II, III) por el método de difusión.....	36
Figura 21. Histogramas de distribución normal de las variables analizadas.	38
Figura 22. ANCOVA de la variable dependiente (tiempo final) con los diferentes factores, donde se muestra que sí hay diferencias significativas entre las diluciones aplicadas y los controles.	39
Figura 23. Análisis de supervivencia de Kaplan-Meier por el método de aspersión.	41
Figura 24. Análisis Probit del tratamiento con aceite esencial de <i>Lippia graveolens</i> por el método de aspersión.....	42
Figura 25. Análisis Probit del tratamiento con aceite esencial de <i>Eucalyptus cinerea</i> por el método de aspersión.....	43
Figura 26. Análisis de supervivencia por estadios (grupo I, II, III) por aspersión..	44

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Distribución de chinches para bioensayo con <i>Lippia graveolens</i>	24
Cuadro 2. Distribución de chinches para bioensayo con <i>Eucalyptus cinerea</i>	24
Cuadro 3. Selección de los individuos según su estadio.....	24
Cuadro 4. Distribución de chinches para bioensayo con <i>Lippia graveolens</i>	26
Cuadro 5. Distribución de chinches para bioensayo con <i>Eucalyptus cinerea</i>	26
Cuadro 6. Rendimiento de aceites esenciales de las plantas recolectadas.	30

RESUMEN

La chinche de cama (*Cimex lectularius* L.) representa una plaga de difícil manejo, principalmente debido al desarrollo de resistencia a los insecticidas comerciales y a las preocupaciones por la exposición de las personas hacia estos productos. Ante esta problemática, el presente estudio evaluó la actividad insecticida de los aceites esenciales de *Lippia graveolens* y *Eucalyptus cinerea* sobre diferentes estadios de desarrollo de *C. lectularius* mediante bioensayos *in vitro* por los métodos de difusión y aspersion. Los bioensayos se realizaron en tres grupos de chinches: grupo I (estadio 1 – 2), grupo II (estadio 3 – 4), grupo III (estadio 5 – Adultos). La mortalidad se registró a las 12, 24, 36 y 48 horas posteriores a la exposición.

Se estableció una cría de *C. lectularius* de segunda generación. Se realizaron bioensayos preliminares comparados con un testigo negativo y un insecticida comercial. En el método de difusión, los tratamientos se aplicaron sobre espuma florar en cajas Petri selladas. En el método de aspersion, se realizaron aplicaciones directas mediante atomizador en insectos contenidos en vasos cubiertos. Ambos bioensayos se realizaron por triplicado.

Con el análisis Probit se determinó que la DL_{50} en el bioensayo por método de difusión para el aceite de *E. cinerea* fue de 83 (mg/mL) y de 50.6 (mg/mL), para *L. graveolens*. Para el bioensayo por método de aspersion se determinó que la DL_{50} para *E. cinerea* fue de 6.4 mg/mL y 3.31 mg/mL para *L. graveolens*. Los resultados obtenidos demostraron que *L. graveolens* presentó mayor eficacia insecticida en comparación con *E. cinerea*. Las ninfas de estadios tempranos fueron más susceptibles a los tratamientos en comparación con los estadios adultos con ambos aceites esenciales; lo que sugiere que, los aceites esenciales evaluados podrían ser excelentes alternativas viables para el control de chinches de cama, ofreciendo opciones más seguras para las personas y el ambiente.

ABSTRACT

The bed bug (*Cimex lectularius* L.) represents a challenging pest to control, primarily due to the development of resistance to commercial insecticides and concerns regarding human exposure to these products. In response to this issue, the present study evaluated the insecticidal activity of the essential oils of *Lippia graveolens* and *Eucalyptus cinerea* against different developmental stages of *C. lectularius* through in vitro bioassays using diffusion and spraying methods. The bioassays were conducted on three groups of bed bugs: group I (instar 1-2), group II (instar 3-4), and group III (instar 5-adults). Mortality was recorded at 12, 24, 36, and 48 hours post-exposure.

A second generation colony of *C. lectularius* was established. Preliminary bioassays were conducted in comparison with a negative control and a commercial insecticide. In the diffusion method, treatments were applied onto floral foam placed inside sealed Petri dishes. In the spraying method, direct applications were made using a sprayer on insects contained in covered glass containers. Both bioassays were performed in triplicate.

Probit analysis revealed that the LD₅₀ in the diffusion method was 83 mg/mL for *E. cinerea* and 50.6 mg/mL for *L. graveolens*. In the spraying method, the LD₅₀ was 6.4 mg/mL for *E. cinerea* and 3.31 mg/mL for *L. graveolens*. The results demonstrated that *L. graveolens* exhibited higher insecticidal efficacy compared to *E. cinerea*. Early instar nymphs were more susceptible to treatments than adult stages for both essential oils, suggesting that these plant derived compounds could be effective and safer alternatives for bed bug control, offering environmentally friendly and human-safe options.

1. INTRODUCCIÓN

Las plagas urbanas vulneran la salud y bienestar en humanos y animales, y generan pérdidas económicas para diversos sectores urbanos (hoteles, escuelas, centros de rehabilitación, hospitales, entre otros (Bonney, 2008; Vassena, 2016).

Las plagas urbanas más abundantes son cucarachas de diversas especies, moscas, chinches de cama y mosquitos, entre otras (Achimón *et al.*, 2022). De éstas, la chinche de cama (*Cimex lectularius*) se ha convertido en una problemática mundial de creciente preocupación debido a su alta capacidad de reproducción y resistencia a insecticidas convencionales, así como a las molestias físicas ocasionadas por sus picaduras y a los efectos psicológicos asociados, como estrés y alteraciones del sueño en las personas afectadas (Dang *et al.*, 2017). La infestación por *C. lectularius* representa una carga económica considerable, pues genera gastos en monitoreo, manejo y su control. También puede afectar el funcionamiento de servicios, interrumpir actividades y generar problemas legales o sanitarios, así como la posible desacreditación de las instituciones y empresas (Rukke *et al.*, 2022; Doggett y Lee, 2023).

El uso indiscriminado de insecticidas comerciales ha motivado la búsqueda de nuevas estrategias de control más seguras, sostenibles y eficaces, como el uso de compuestos vegetales con propiedades insecticidas (Romero *et al.*, 2007; Wang *et al.*, 2014; Gaire *et al.*, 2020).

Estudios previos han demostrado que algunos aceites esenciales de plantas aromáticas tienen actividad insecticida contra diversos insectos, atribuida a compuestos como timol, carvacrol, eugenol, geraniol, linalol, entre otros (Aldana & Cruz, 2017; Zha *et al.*, 2017; Elbanoby, 2019). Diversos estudios respaldan su efectividad en la gestión de la plaga de *C. lectularius* (Sharififard *et al.*, 2018; Elbanoby, 2019; Machado *et al.*, 2019; Gaire *et al.*, 2020).

El objetivo de este estudio es evaluar el efecto insecticida de los aceites esenciales de *Lippia graveolens* y *Eucalyptus cinerea* sobre *C. lectularius* mediante bioensayos *in vitro* aplicados a diferentes estadios de desarrollo del insecto.

2. ANTECEDENTES

2.1 Origen y distribución de *C. lectularius*

De acuerdo con Zúñiga-Carrasco y Caro-Lozano (2012), esta especie tuvo su origen en el Medio Oriente, probablemente asociado con murciélagos y humanos que vivían en cuevas (Castex *et al.*, 2025), por lo que aparentemente se distribuyó por Europa desde hace varios milenios (Harrison *et al.*, 2022). La hematofagia es un comportamiento típico de las chinches, cuyas implicaciones resultan relevantes desde una perspectiva epidemiológica (Bueno-Marí *et al.*, 2009). Este hábito alimenticio está estrechamente relacionado con su preferencia por alimentarse de seres humanos (antropofilia) (Kawasima *et al.*, 2022). Así mismo, Kawasima *et al.* (2022) mencionan que el aumento de las infestaciones por chinches de cama en el norte de Europa, probablemente se relacione con el tráfico de personas y el comercio marítimo. A principios del siglo XX, *C. lectularius* tuvo una enorme propagación por toda Europa y parte del continente americano. Akhoundi *et al.*, (2020) por lo que actualmente, la chinche de cama tiene una distribución cosmopolita, ya que se ha observado un resurgimiento global de este tipo de infestación, especialmente en países desarrollados.

2.2 Mecanismos de desplazamiento de *C. lectularius*

Es fundamental entender cómo se desplaza y se dispersa la chinche de cama para poder implementar estrategias efectivas que permitan controlar las infestaciones y prevenir su llegada a nuevos lugares. Leung *et al.* (2024), mencionan que las infestaciones por *C. lectularius* son más prevalentes en entornos donde hay actividad humana y su dispersión se facilita por el aumento de los viajes internacionales y la migración, debido principalmente por su desplazamiento pasivo a través de objetos personales, y en menor grado, por desplazamiento activo, ya que pueden desplazarse aproximadamente de 2 - 5 m de distancia donde se encuentra el huésped (Potter *et al.*, 2010).

(Cooper *et al.*, 2015; Wang *et al.*, 2010) realizaron un estudio donde observaron distintos comportamientos de chinches en apartamentos infestados; algunos grupos de este insecto se refugiaban cerca del huésped y otros se desplazaban fuera de los apartamentos. Plantearon la hipótesis de que el nivel de infestación no se debe a la dispersión de *C. lectularius*, sino a la combinación de factores que se presentan en el área, tales como el desorden del lugar y el comportamiento de los residentes, algunas personas no toman tanta importancia a la infestación y se resisten a mantener una buena higiene en sus hogares o establecimientos.

2.3 Alimentación

Cimex lectularius tiene una estrategia de evasión o comportamiento de refugio diurno y actividad nocturna (Leung *et al.*, 2024), ya que, durante la noche, las chinches se desplazan hacia sus huéspedes estimuladas por el calor corporal, el sudor, el olor y el dióxido de carbono que se exhala al respirar (Suchy y Lewis, 2011; Knudsen y Ignell, 2024). Las chinches normalmente se alimentan entre las 1:00 y las 5:00 a. m., cuando las personas duermen (Miller y Polanco, 2013). Una vez localizado su huésped, utiliza su aparato bucal para penetrar la piel y llegar a los capilares para acceder al flujo de sangre. Este proceso dura entre 5 y 10 minutos en función del estadio (Araujo *et al.*, 2009). Ocasionalmente puede ocurrir que la penetración resulte en múltiples “picaduras” provenientes de la misma chinche, debido a que no encontró capilares disponibles, pero una vez que se alimenta, se aleja del huésped y vuelve a esconderse para digerir la sangre consumida (Miller y Polanco, 2013; Harrison *et al.*, 2022).

Su comportamiento alimenticio, depende de factores ambientales e internos, como temperatura, humedad, estado reproductivo y nutricional (Saveer *et al.*, 2021). Anteriormente, las chinches obtenían su alimento de diversas fuentes como murciélagos, gallinas y algunos animales domésticos (Talbot *et al.*, 2019). Sin embargo, en la actualidad se alimentan principalmente de humanos, quienes proporcionan tanto la fuente de sangre como los espacios adecuados para su refugio, desarrollo y reproducción (Leung *et al.*, 2024).

2.4 Biología de *C. lectularius*

Las chinches de cama presentan un desarrollo hemimetábolo caracterizado por una metamorfosis incompleta que comprende cinco estadios ninfales antes de alcanzar la fase adulta (Figura 1). Cada hembra puede poner de dos a tres huevos diarios, alcanzando entre 400 y 500 huevos durante su vida (Killgerm Group Ltd., 2009; Kawasima *et al.*, 2022).

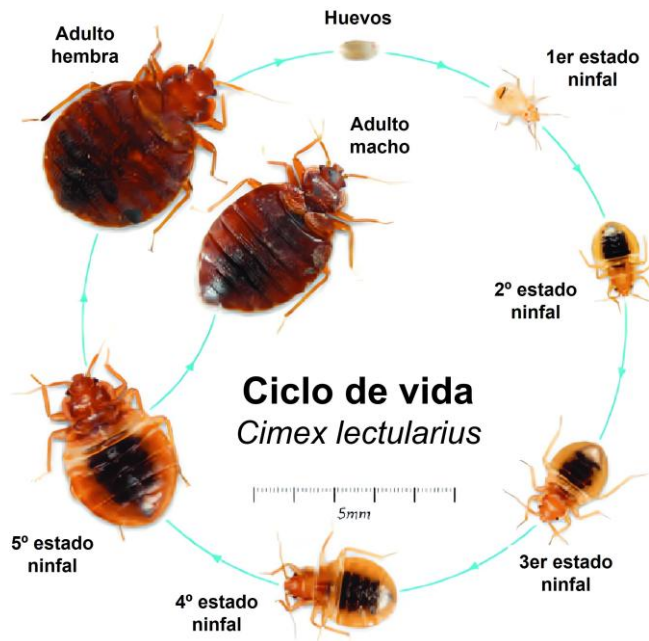


Figura 1. Ciclo de vida, metamorfosis incompleta de *C. lectularius*. Fuente: (López-Uribe *et al.*, 2020).

El periodo de incubación de los huevos de *C. lectularius*, es de aproximadamente diez días. Una vez eclosionado el huevo, las ninfas requieren entre cinco y ocho semanas para completar su ciclo de vida (Ashbrook *et al.*, 2022). La longevidad de los adultos puede extenderse hasta un máximo de 316 días, dependiendo de factores como la disponibilidad de alimento, la temperatura y la humedad relativa (Rukke *et al.*, 2021).

Las chinches de cama adultas presentan una morfología ovalada y aplanada, miden entre 5 y 6 mm, y su color varía de marrón a marrón rojizo. Las ninfas jóvenes, en cambio, presentan un tono amarillento (Leung *et al.*, 2024). Poseen un rostro articulado compuesto por tres segmentos, antenas de cuatro artejos y alas vestigiales no funcionales. Morfológicamente, el extremo abdominal es agudo en

los machos y más redondeado en las hembras (Gaire *et al.*, 2020) (Figura 2). La reproducción se lleva a cabo por inseminación traumática (Harlan, 2006).

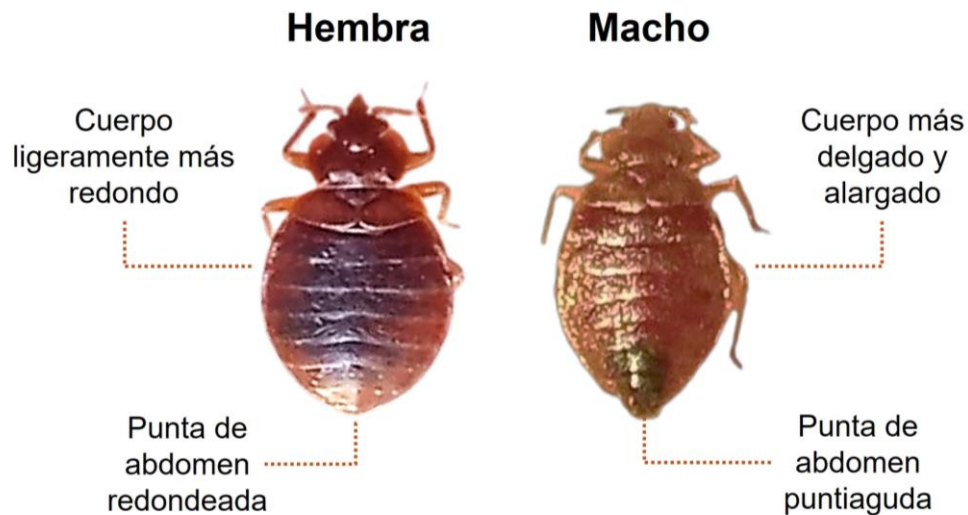


Figura 2. *Cimex lectularius*, diferencia entre hembra y macho (Elaboración propia).

2.5 Mecanismo de resistencia a insecticidas químicos

En estas últimas dos décadas, ha habido un resurgimiento de chinches de cama en el mundo, actualmente han desarrollado mecanismos de resistencia a múltiples insecticidas químicos (Dang *et al.*, 2017). Entre las intervenciones químicas que se emplean para el control de infestaciones por este insecto se encuentran: piretroides sintéticos, piretrinas naturales, disruptores endocrinos, carbamatos, organofosforados, neonicotinoides, clorfenapir, fipronil, Dietil-meta-toluamida (DEET), entre otros (Leung *et al.*, 2024).

El empleo incorrecto, prolongado y frecuente de insecticidas para combatir las chinches de cama ha favorecido el desarrollo de resistencia tanto en su comportamiento como en su fisiología (Elbanoby, 2019). Estudios como el de (Ashbrook *et al.*, 2019; Vander-Pan *et al.*, 2020), refuerzan la teoría de que *C. lectularius* posee diferentes mecanismos de resistencia, tales como: mutaciones genéticas en los canales de sodio (resistencia a piretroides), sobreexpresión de

enzimas detoxificadoras (como glutatión S-transferasas, esterasa, etc.) y cambios en la permeabilidad de la cutícula (resistencia a contacto).

Cho *et al.* (2024) realizaron un estudio donde identificaron dos tipos de resistencia de *C. lectularius*: una conductual, que les permite evitar el contacto con los insecticidas, y otra fisiológica, que incluye una menor absorción de los compuestos, mayor capacidad de desintoxicación y menor sensibilidad a los insecticidas. El estudio propone explorar métodos de control alternativos para combatir esta plaga, como son algunas estrategias de manejo integrado de plagas que utilicen métodos de control físico y mecánicos (tierra de diatomeas) para reducir el uso de insecticidas químicos. Así mismo, Dang *et al.* (2017), destacan la urgencia de implementar enfoques de manejo de resistencia (MRI) y manejo integrado de plagas (MIP) para controlar eficazmente a las chinches de cama.

2.6 Problemática mundial

En años recientes se ha observado un incremento en la cantidad de publicaciones científicas y de divulgación, las cuales reportan un alza en los casos de infestaciones por chinches, así como sus implicaciones negativas para la salud humana (Akhoundi *et al.*, 2020). En cuestiones económicas según Singh *et al.*, (2014) y Gómez (2023), el precio del servicio de fumigación para eliminar chinches de cama depende del tamaño del área infestada y del nivel de infestación presente. En México, los costos por fumigación oscilan entre los \$800 y \$2,500 pesos mexicanos (Gómez, 2023).

Autores como Miller y Polanco (2013) han demostrado que las chinches se han vuelto resistentes a los piretroides y tienden a presentar un ciclo de desarrollo más corto (por algunos días), menor esperanza de vida y una producción reducida de huevos, en comparación con las poblaciones que no han desarrollado dicha resistencia. El resurgimiento global de *C. lectularius* ha causado preocupación debido a su impacto en la salud pública, el turismo, la economía y el bienestar psicológico de las personas afectadas (Wang y Cooper, 2011; Zúñiga-Carrasco y Caro-Lozano, 2012). Sobre este último punto (Gangloff-Kaufmann *et al.*, 2006; Potter *et al.*, 2010) indican que, en grandes infestaciones intradomiciliarias, algunas

personas pueden desarrollar diversos padecimientos psico-afectivos como ansiedad, depresión e insomnio. Los efectos de la picadura de una chinche pueden diferir según la persona, ya que algunas desarrollan irritaciones cutáneas acompañadas de picazón o inflamación, mientras que otras no experimentan ninguna reacción o solo presentan una respuesta leve (Rukke *et al.*, 2022).

2.7 Métodos de control

2.7.1 Control químico

Las infestaciones por chinches de cama eran frecuentes antes de la Segunda Guerra Mundial, pero su presencia disminuyó notablemente en las décadas posteriores, especialmente a partir de los años 1950, cuando se utilizaron insecticidas sintéticos como dicloro difenil tricloroetano (DDT) (Dang *et al.*, 2017). No obstante, en años recientes, diversos especialistas han señalado un repunte global en la aparición de esta plaga, fenómeno que ha sido descrito como un resurgimiento (Vassena, 2016).

En la actualidad, para el control de infestaciones de las plagas urbanas en su mayoría se utilizan los mismos productos que en el ámbito agrícola, como los piretroides, entre ellos la deltametrina (Figura 3) (Agnew y Romero, 2017); éstos junto con los organofosforados y los neonicotinoides destacan por sus diferentes modos de acción sobre los insectos plaga (Nauen, 2007). Actualmente se están utilizando mezclas de estos productos químicos como la mezcla de imidacloprid/cipermetrina (Figuras 3), que incrementa la acción insecticida, pero son más tóxicos hacia otros organismos. también se ha incrementado la resistencia de este tipo de plagas hacia estos productos químicos, lo que se expresa con mayor engrosamiento de su exoesqueleto y el desarrollo de enzimas que minimizan la absorción de estos compuestos y disminuyen su sensibilidad hacia estos insecticidas (Cho *et al.*, 2024).

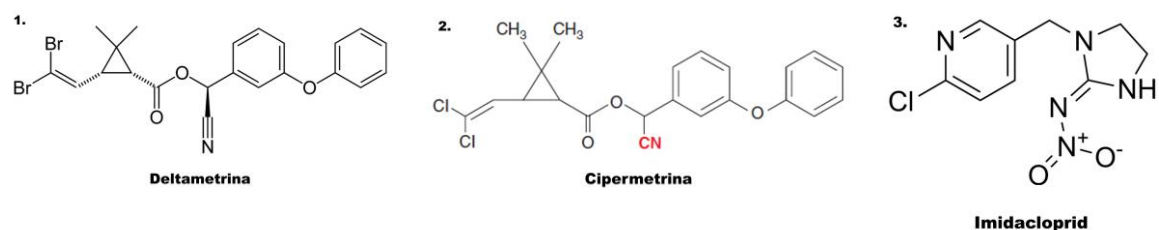


Figura 3. Estructura química de deltametrina (1), cipermetrina (2) e imidacloprid (3).

También la resistencia en las poblaciones de insectos se incrementa cuando se utilizan repetidamente productos de una misma clase o con mecanismos de acción similares. Los componentes químicos presentes en dichos pesticidas dejan residuos tóxicos al humano y a los animales vertebrados e invertebrados, con su consecuente contaminación del ambiente (Chi-Chim *et al.*, 2024).

2.7.2 Control físico

La tierra de diatomeas es un producto natural derivado de los fósiles de algas microscópicas (diatomeas), se utiliza con gran eficacia sobre *C. lectularius*, debido a su prolongada estabilidad, acción residual y menor riesgo de generar resistencia por su mecanismo físico, además carece de residuos químicos, lo que favorece su aceptación ambiental (Doggett y Lee, 2023).

2.7.3 Control alternativo con productos orgánicos

Los aromas que muchas plantas aromáticas tienen en sus distintas estructuras se deben a la presencia de compuestos altamente volátiles, que constituyen los aceites esenciales, cuya concentración y composición química es altamente variable en las diferentes especies de plantas aromáticas, así como en las mismas plantas (Ortiz-Bode, 2013). Estos aceites esenciales se producen en los tricomas glandulares, cuyas estructuras tienen la apariencia de diminutos sacos globosos con el extremo superior generalmente en forma de punta, semejante a una velloso y varían en tonalidades (Martínez-Natarén *et al.*, 2023).

Los aceites esenciales han despertado gran interés en diversas áreas científicas y productivas debido a sus propiedades bioactivas. Se encuentran presentes en distintas partes de las plantas y son mezclas complejas de terpenos, alcoholes, aldehídos y fenoles, entre otros (Bertoni, 2013; Espinosa y Rocha, 2019; Isman,

2020; Mojica *et al.*, 2022). Su utilidad se ha documentado en la industria cosmética, farmacéutica, alimentaria y médica, por sus actividades antimicrobianas, antiinflamatorias, antioxidantes, carminativas y antisépticas (Regnault-Roger *et al.*, 2012). Los que provienen de la lavanda, árbol de té, menta, salvia y albahaca contienen compuestos como linalol, timol y cineol, que explican sus efectos terapéuticos y aromáticos. Lo que evidencia el potencial de los aceites esenciales como alternativas naturales a productos sintéticos en distintos campos de aplicación (Vila-Casanova, 2019).

En la búsqueda de alternativas naturales al control químico de plagas agrícolas, Ruiz *et al.* (2015) analizaron aceites esenciales de 10 plantas aromáticas peruanas, para identificar compuestos activos contra *Thrips tabaci*, plaga que ataca cultivos de algodón, espárragos, cebollas y tabaco. Las especies evaluadas fueron: *Jungia paniculata* (matico de la sierra), *Piper hispidum* (matico hoja lisa), *Ambrosia arborescens* (marco macho), *Ambrosia peruviana* (marco hembra), *Luma chequen* (arrayán), *Minthostachys setosa* (muña), *Lepechinia meyenii* (pachasalvia), *Ruta chalepensis* (ruda macho), *Ruta graveolens* (ruda hembra) y *Aristolochia silvatica* (huampishcuna). Se identificaron β -cariofileno, D-limoneno, α -pineno, timol, y se reportó por primera vez la composición química de *Jungia paniculata*, *Ambrosia peruviana*, *Lepechinia meyenii* y *Aristolochia silvatica*, lo que demuestra su potencial como alternativas naturales a los pesticidas sintéticos.

A la fecha la búsqueda de este tipo de plantas continúa (Acuña-Corrales, 2008; Wang *et al.*, 2014; Elbanoby, 2019; Achimon *et al.*, 2022; Herrera-Gorocica, 2023; Murrieta-Dionicio *et al.*, 2023) se buscan métodos eficaces y amigables al ambiente, como es el caso de los aceites esenciales de diversas plantas aromáticas, con propiedades insecticidas, repelentes, anti-alimentarias o que inhiban la oviposición, entre muchas otras. Plantas como la hierbabuena, eucalipto, clavo, canela, pirul, crisantemos y orégano, poseen propiedades insecticidas (Santiago-Santiago *et al.*, 2024). En el caso del orégano *Lippia graveolens* y *Lippia palmeri*, son especies con propiedades altamente insecticidas que están presentes en la República Mexicana, la primera con mayor distribución en el país y gran demanda económica (González-Güereca *et al.*, 2007).

2.7.4 Estudios de actividad insecticida de plantas aromáticas sobre *C. lectularius*

Wang *et al.* (2014), evaluaron la eficacia en campo de un producto con aceites esenciales (EcoRaider; con geraniol, aceite de cedro y lauril sulfato de sodio) y lo compararon con una mezcla de piretroides y neonicotinoides (Temprid SC; con beta-ciflutrina e imidacloprid). Con EcoRaider la población de chinches se redujo al 92%, con Temprid SC (solo) el 93% y con la mezcla de piretroides y neonicotinoides se obtuvo una reducción del 90%, y aunque no se observaron diferencias significativas en la reducción de chinches entre los tratamientos, solamente en el 22% de los apartamentos tratados, se eliminó el 100% de los insectos porque los residentes contribuyeron exitosamente con un manejo adecuado de autocontrol.

En otros bioensayos se evaluó el efecto insecticida por contacto del aceite esencial de *Tagetes patula* sobre adultos de *C. lectularius*, se emplearon cinco concentraciones y en las concentraciones más elevadas (50 y 100 mg/mL), el aceite esencial logró una mortalidad del 100 % a las 72 h de observación, presentando además un perfil de baja toxicidad en células humanas y en pruebas *in vivo* (Politi *et al.*, 2017). El α -terpinoleno, limoneno y piperitenona fueron los principales responsables de la actividad insecticida de este aceite esencial.

También se ha comprobado la eficacia de los aceites esenciales de clavo, canela, ajo, pimienta y tomillo en contra de *C. lectularius* comparado con la Deltametrina, Cipermetrina y Diazinon. Aunque la Deltametrina presentó la mayor eficacia en los primeros 90 minutos tras su aplicación y el Diazinon fue el más tóxico a las 24 h. Estos aceites esenciales son alternativas naturales menos tóxicas y más baratas que pueden alternarse con los insecticidas químicos (Elbanoby, 2019).

En otros estudios encontraron una cepa de chinches (Knoxville) con una alta resistencia a la Deltametrina debido a la actividad de las enzimas de desintoxicación y a una mutación en el canal de sodio; aunque esta misma cepa no mostró resistencia a los cinco aceites esenciales evaluados (tomillo, orégano, clavo, geranio y cilantro), cuyos componentes principales de acción insecticida fueron timol, carvacrol, eugenol, geraniol y linalol, y a un producto a base de aceites

esenciales. (EcoRaider®). Estos resultados son prometedores y podrían ser otra alternativa más para el control de chinches de cama (Gaire *et al.*, 2020).

Es importante señalar que varios autores como (Davies *et al.*, 2012; Doggett y Lee, 2023), resaltan la necesidad de realizar investigaciones adicionales, enfocadas a buscar los factores que impulsan el resurgimiento actual de las chinches y a identificar las diferencias entre las dos especies relevantes: *C. lectularius* y *C. hemipterus*. Así mismo consideran que se deben mejorar los protocolos de prueba de insecticidas y las estrategias de manejo y que se debe dar mayor importancia al uso de aceites esenciales como alternativas hacia los insecticidas comerciales.

En este mismo contexto Aghaei-Afshar *et al.* (2023), realizaron una revisión sistemática de estudios publicados entre 1990 y 2021 sobre el uso de extractos vegetales y aceites esenciales contra chinches de cama. Identificaron 26 especies vegetales que mostraron efectos con mortalidad y repelencia de hasta el 100% en condiciones experimentales debido principalmente a la presencia constante de timol, carvacrol, linalol. Entre las plantas estudiadas se encuentran: *Mentha piperita*, *Origanum vulgare*, *Thymus vulgaris*, *Eugenia caryophyllus*, *Cinnamomum* spp. *Lippia* spp. incluye *Lippia graveolens*, *Tagetes patula*, *Schinus molle*, entre otras.

Estas investigaciones respaldan el uso potencial de los aceites esenciales como alternativas sostenibles para el control de poblaciones de chinches de cama, y podrían contribuir al desarrollo de estrategias de manejo integrado, para disminuir la dependencia a los productos sintéticos. Además, los aceites esenciales naturales brindan una alternativa viable a la salud humana y propician un mejor ambiente.

3. JUSTIFICACIÓN

Dada la necesidad de desarrollar insecticidas sustentables, las plantas aromáticas son actualmente una alternativa innovadora (Cázarez-Hernández, 2006). En el mercado existe gran variedad de insecticidas para control de infestaciones de chinches, pero debido a la resistencia tan alta que presentan, al manejo inadecuado de los insecticidas, a su dosificación, falta de capacitación de los fumigadores, así como a la nula o poca disponibilidad de los usuarios para movilizar muebles, lavado, controlado de ropa y otros enseres, es casi imposible erradicarlas completamente (Elbanoby, 2019). Por ello, se subraya la necesidad de introducir insecticidas alternativos (Cho *et al.*, 2024).

Además, los activos químicos que contienen los insecticidas del mercado también son perjudiciales para la salud del hombre, lo que representa un problema mundial en cuanto a salud y ambiente (Scarpino y Althouse, 2019). La dificultad para erradicar esta plaga por su capacidad para propagarse fácilmente es un desafío significativo para los hogares, hoteles y otras instituciones de salud o educativas. Esto ha ocasionado grandes gastos anualmente y en la mayoría de las veces, sin éxito debido a la alta resistencia hacia los productos aplicados (Doggett y Lee, 2023).

La identificación de productos naturales con eficacia insecticida puede ofrecer alternativas ecológicas y menos tóxicas dentro de los programas de Manejo Integrado de Plagas (MIP), reduciendo la dependencia de compuestos químicos sintéticos (Rukke *et al.*, 2022).

Para contribuir con este tipo de estudios, en esta investigación se evaluó la efectividad de los aceites esenciales de *L. graveolens* y *Eucalyptus cinerea*, para el control de infestaciones por chinches de cama. Asimismo, los resultados obtenidos podrán contribuir al conocimiento científico sobre el uso de aceites esenciales en el control de plagas hematófagas, sentando las bases para el desarrollo de bioplaguicidas innovadores y sustentables con materiales de la región. Por tanto, la

investigación es pertinente y responde a una necesidad real tanto en el ámbito sanitario como ambiental.

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo general

Evaluar el efecto insecticida de los aceites esenciales de *Lippia graveolens* y *Eucalyptus cinerea* sobre *Cimex lectularius*.

4.2 Objetivos específicos

1. Establecer una cría estandarizada de *C. lectularius*.
2. Evaluar el efecto insecticida de los aceites esenciales de *L. graveolens* y *E. cinerea*, mediante bioensayos *in vitro* en tres estadios del insecto.
3. Obtener la sobrevivencia por el método de contacto.
4. Realizar la correlación entre los tratamientos y las dosis aplicadas.

5. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Cuál es el efecto insecticida de los aceites esenciales de *L. graveolens* y *E. cinerea* sobre *C. lectularius* y como varía su eficacia en función de la dosis aplicada?

6. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1 Sitios de recolección del material botánico

El material botánico se recolectó en dos localidades de los municipios de Durango y del Mezquital, previamente seleccionadas debido a la accesibilidad de caminos (Figura 4).

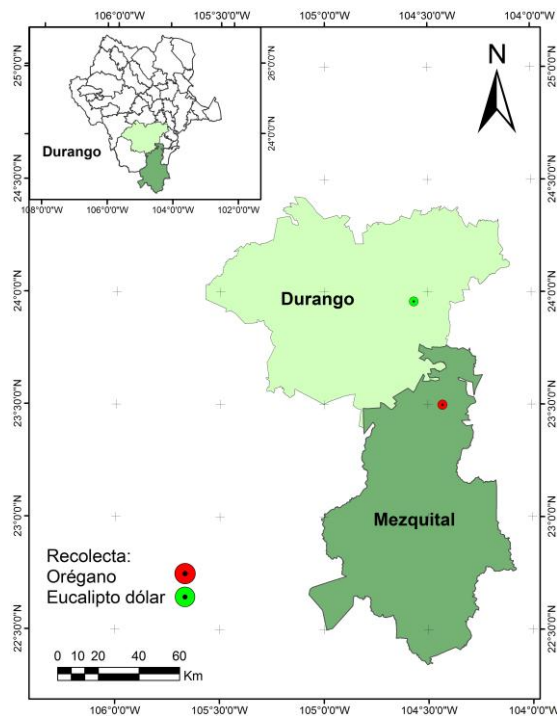


Figura 4. Sitios de recolección de orégano y eucalipto dólar en Durango.

Las partes aéreas de *L. graveolens* se recolectaron en septiembre de 2024 en los alrededores del kilómetro 78 de la carretera del entronque hacia Temoaya, Municipio del Mezquital, Durango, México (punto rojo). Esta región se caracteriza por presentar un clima tipo BSo (B: clima seco, S: semiárido, o: templado), con temperatura media anual de alrededor de 16 °C. Su precipitación media anual es cerca de los 650 mm y una altitud de 2,230 m (INEGI, 2010) (González-Elizondo *et al.*, 2007).

Eucalyptus cinerea, fue recolectada en una propiedad privada ubicada en el kilómetro 23 de la carretera Durango–Mezquital, dentro del municipio de Durango.

Esta área se caracteriza por un clima semiárido cálido, con temperaturas medias anuales que oscilan entre los 16 y 18 °C (punto verde) (Figura 4) (INEGI, 2016).

La colecta de *L. graveolens* y *E. cinerea* se efectuó conforme a lo establecido en la Norma Oficial Mexicana NOM-007-SEMARNAT (1997). Se seleccionaron exclusivamente ejemplares sanos, sin signos visibles de daño por plagas o enfermedades.

6.2 Procesamiento de material botánico

El material recolectado se secó bajo la sombra, se extendió por alrededor de tres días sobre periódico y papel estroza. Enseguida se separaron las hojas de las ramas y se depositaron en bolsas de papel estroza, previamente etiquetadas para evitar la absorción de humedad. Se colocaron en un lugar oscuro, fresco y seco, sobre un anaquel hasta su uso (Figuras 5 y 6).



Figura 5. Recolecta de *Eucalyptus cinerea*, material fresco y proceso de secado.



Figura 6. Recolecta de *Lippia graveolens*, proceso de secado y limpieza.

6.3 Obtención de aceites esenciales

Los aceites esenciales se obtuvieron mediante el método de destilación por arrastre con vapor de agua en un equipo de acero inoxidable (Espinosa y Rocha, 2019). El aceite esencial se separó del agua de destilación por decantación de las fases y se filtró a través de sulfato de sodio anhidro para eliminar el agua. Se envasó en contenedores de vidrio ámbar y se guardó en un lugar seco en oscuridad, perfectamente etiquetado con la fecha de extracción, nombres del responsable de la destilación y el nombre del producto (Figuras 7). A los aceites esenciales se les determinó el índice de refracción y su densidad relativa.



Figura 7. Material seco y equipo de acero inoxidable para el destilado de arrastre con vapor.

6.4 Preparación de soluciones de prueba

El agente emulsificante se preparó con Tween₂₀ al 15% en agua destilada estéril para producir emulsiones del tipo aceite en agua (O/W), que facilitaron la solubilidad del aceite esencial de orégano y de eucalipto.

6.5 Recolección de material biológico

La recolección de las chinches de cama se efectuó en cinco viviendas y en un centro de rehabilitación en distintos sitios de la ciudad de Durango. Las personas fueron informadas del proyecto a través de redes sociales, trípticos y por contactos cercanos. Se contó con el permiso de la gente para ingresar a sus viviendas. La recolección se realizó en los meses de agosto a noviembre de 2024 y de febrero a marzo de 2025.

Para la recolección se utilizó una aspiradora de insectos y pinceles, para facilitar la captura de los ejemplares. Los insectos recolectados se colocaron en envases de plástico de 250 mL de capacidad con una tapa modificada a la cual se le colocó en la parte superior dos capas de tela de organza. Dentro de los envases se colocaron trozos de cartón corrugado de 6 × 5 cm, forrados con tela polar negra para mantener a los insectos en un ambiente más adecuado para resguardarse y ovipositar, así como para visualizarlos claramente (Figura 8).



Figura 8. Materiales para recolecta de chinches (aspiradora de insectos, pinceles y envase con etiqueta).

6.6 Establecimiento de cría estandarizada de *C. lectularius*

Para los bioensayos *in vitro*, se estableció una cría de *C. lectularius* en el área de crías para obtener chinches de segunda generación y de diferentes estadios. (Figura 8). Se confecciono una caja de vidrio de 102 × 52 cm, con un fondo forrado con cartulina blanca para visualizar la posible fuga de algún ejemplar. Dentro de esta caja se colocó una caja de plástico en donde se introdujeron lo envases de plástico previamente etiquetados conteniendo las chinches de cama recién capturadas. Se colocó una tapa de acrílico modificada con dos capas de tela de organza como respiradero. Bajo esta caja se colocó una bandeja de 110 × 60 cm, con tierra de diatomeas para evitar el escape de alguna chinche (Figura 9).

En invierno se colocó un calentón programado para mantener la temperatura de 25 a 30° y dos ventiladores para los meses calurosos con un humidificador para controlar la humedad relativa. Las temperaturas se trataron de mantener como las

reportadas por diversos autores (25 a 30°C) y la humedad relativa (40 a 50%) y fotoperiodo de luz (12 horas luz y 12 horas oscuridad) de acuerdo con experimentos realizados previamente (Gaire *et al.*, 2020; Fazito *et al.*, 2023).



Figura 9. Cámara de cría para *Cimex lectularius*.

6.7 Fuente de alimentación de chinches

Para la reproducción de los insectos de estudio, se utilizaron ratas Wistar y conejo Nueva Zelanda del bioterio de la Facultad de Química, UNAM, así como del bioterio del Instituto de Investigaciones Biomédicas de la UNAM (Figura 10).

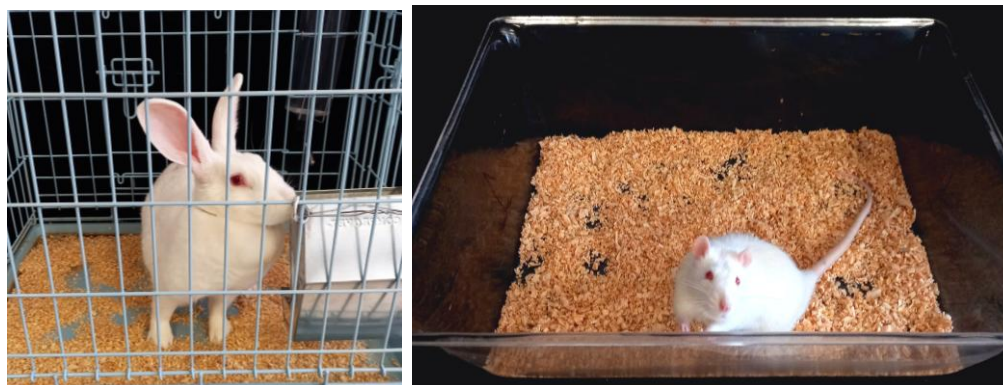


Figura 10. Fuentes de alimento para *Cimex lectularius* (Conejo Nueva Zelanda y rata Wistar).

Las chinches de cama se alimentaron directamente con sangre de conejo y ratas de laboratorio. La alimentación se realizó de cada 11 a 15 días, para lo cual se utilizó un pincel para colocar las chinches sobre una parte rasurada del animal y facilitar su alimentación (Figura 11). El tiempo de alimentación fue variable (3 a 15 min) en función del estado ninfal y se realizó entre 9 y 10 am, en condiciones

óptimas de temperatura (25 – 30°C) y humedad relativa (40 – 50%) y oscuridad media.

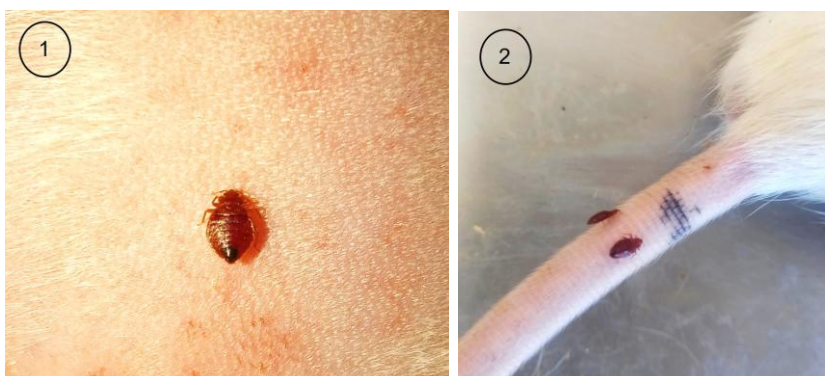


Figura 11. Proceso de alimentación de *Cimex lectularius* sobre conejo (1) y rata (2).

6.8 Realización de bioensayos *in vitro*

6.8.1 Método de difusión

a) Aceite esencial de *Lippia graveolens*

Para determinar las dosis efectivas del aceite esencial de orégano mediante el método de difusión, se preparó el emulsificante de Tween₂₀ al 15%. Se prepararon cuatro emulsiones de aceite en agua con las concentraciones D₁ (9.21 mg/mL), D₂ (18.4 mg/mL), D₃ (46.03 mg/mL) y D₄ (55.23 mg/mL). Cada emulsión evaluada se comparó con un control negativo compuesto por el sistema emulsificante y como control positivo un insecticida comercial a base de Deltametrina a la concentración de 26.5 mg/mL.

Así mismo, este análisis se corrió para tres grupos de chinches: grupo I (estadios 1 y 2), grupo II (estadio 3 y 4) y grupo III (estadio 5 y edad adulta). Cada grupo recibió los mismos tratamientos (cuatro diluciones y dos testigos). Por lo tanto, cada grupo se consideró como una repetición experimental, obteniéndose tres repeticiones en total. Se utilizó un total de 120 ejemplares para este bioensayo (Cuadro 1), distribuidos por cada grupo de estadios. Se midió la longitud y el ancho corporal de cada insecto utilizando papel milimétrico para obtener datos morfométricos complementarios (Cuadro 3), así como la mortalidad (horas) observada.

b) Aceite esencial de *Eucalyptus cinerea*

En el caso del aceite esencial de eucalipto, se prepararon las emulsiones utilizando Tween₈₀ 10%. A partir de estas emulsiones se elaboraron cuatro diluciones distintas: D1 (46.1 mg/mL), D2 (73.8 mg/mL), D3 (92.2 mg/mL) y D4 (110.7 mg/mL). Al igual que con el tratamiento de orégano, se incluyeron un testigo negativo compuesto por el emulsificante y un control positivo con Deltametrina.

El bioensayo se aplicó en los mismos tres grupos de desarrollo de *C. lectularius*. Cada grupo recibió los mismos tratamientos (Cuatro diluciones y dos testigos). Por lo tanto, cada grupo se considera como una repetición, obteniéndose un total de tres repeticiones experimentales. Se evaluaron un total de 60 ejemplares para este bioensayo (Cuadro 2) distribuidos por cada grupo de estadios. De igual manera también se realizaron mediciones de los insectos (Cuadro 3), así como la mortalidad observada.

c) Realización del bioensayo

El experimento se realizó en cajas Petri de 9 cm de diámetro y en el centro, se colocó un cubo de espuma floral (Florice) de aproximadamente 1 cm³. Esta espuma se impregnó con una cantidad conocida de los distintos tratamientos (Figura 12).

Posteriormente, las cajas se sellaron para evitar la pérdida de los compuestos volátiles contenidos en los aceites esenciales, permitiendo la exposición indirecta del producto de prueba. Se registró la mortalidad de los insectos a las 12, 24, 36 y 48 horas posteriores a la exposición de los tratamientos. Se consideraron muertos a los individuos que no presentaron movimiento ni respuesta ante estímulos mecánicos directos. Se determinó la DL₅₀ mediante el estadístico de Probit (dosis-respuesta), donde sus variables fueron: evento (censurado y completo) y concentraciones.

Cuadro 1. Distribución de chinches para bioensayo con *Lippia graveolens*.

Repeticiones	Chinches Grupos(I, II yIII)	Diluciones
1	42	D1 – D4, Pc, Testigo
2	42	D1 – D4, Pc, Testigo
3	36	D1 – D4, Pc, Testigo

Pc (Producto comercial).

Cuadro 2. Distribución de chinches para bioensayo con *Eucalyptus cinerea*.

Repetición	Chinches Grupos (I, II yIII)	Diluciones
1	21	D1 – D4, Pc, Testigo
2	21	D1 – D4, Pc, Testigo
3	18	D1 – D4, Pc, Testigo

Pc (Producto comercial).

Cuadro 3. Selección de los individuos según su estadio.

Dimensiones promedio (mm)	Grupo I	Grupo II	Grupo III
	Estadio 1 y 2 (mm)	Estadio 3 y 4 (mm)	Estadio 5 y adulto (mm)
Ancho	0.43 - 0.52	1.87 - 1.89	2.87 - 2.89
Longitud	1.40 - 1.41	3.20 - 3.36	4.84 - 4.96

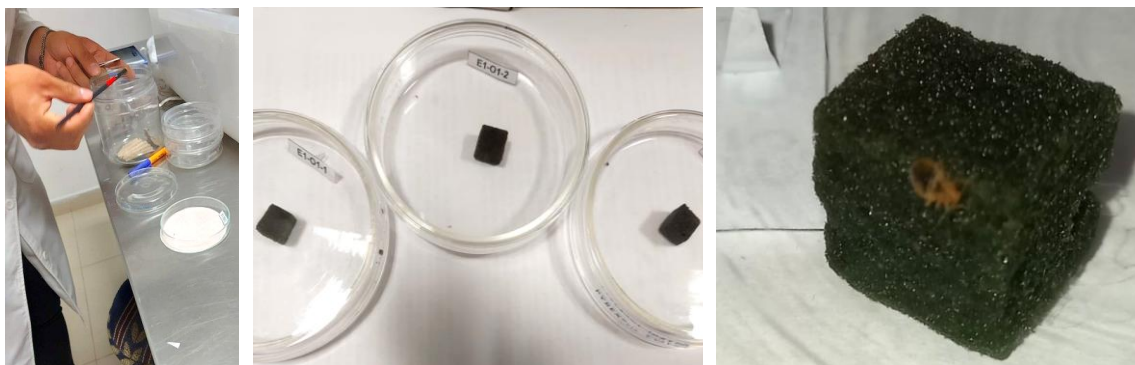


Figura 12. Colocación de chinches y el cubo para el bioensayo por difusión.

6.8.2 Método de aspersión

a) Aceite esencial de *Lippia graveolens*

Para la evaluación del aceite de orégano mediante este método, se prepararon emulsiones del tipo aceite en agua, utilizando Tween₂₀ 15% como emulsionante. A partir de estas emulsiones se obtuvieron tres diluciones: D1 (3.31 mg/mL), D2 (8.28 mg/mL) y D3 (13.26 mg/mL). Cada tratamiento fue comparado con dos controles experimentales: un control negativo (emulsificante), y un control positivo, compuesto por un insecticida comercial formulado con Imidacloprid (21.66%) y Cipermetrina (6 %) (0.96 mg/mL).

El bioensayo se aplicó con nueve individuos (tres de cada uno de los grupos de desarrollo). Se utilizó un total de 46 ejemplares de diferentes estadios (Cuadro 4). Se midió la longitud y el ancho corporal de cada insecto como anteriormente se mencionó, así como la mortalidad observada.

b) Aceite esencial de *Eucalyptus cinerea*

En el caso del aceite esencial de eucalipto, se prepararon emulsiones utilizando Tween₈₀ 10%. A partir de estas emulsiones se elaboraron tres diluciones: D1 (6.64 mg/mL), D2 (8.8 mg/mL) y D3 (13.58 mg/mL).

Se realizó el experimento con un total de 28 ejemplares de diferentes estadios. El bioensayo se aplicó en los mismos tres grupos de desarrollo de *C. lectularius* (Cuadro 5).

c) Realización del bioensayo

En este bioensayo por aplicación directa, se realizaron tres aspersiones por cada tratamiento mediante un atomizador para cromatografía previamente calibrado y conectado a una bomba de aire manual (Figura 13).

Los insectos se colocaron dentro de un vaso de precipitado de 1 L de capacidad y se taparon con un plástico adherible para evitar la evaporación del producto. Los tratamientos se realizaron por triplicado para cada concentración evaluada. El

control positivo fue un insecticida comercial se aplicó a una concentración de 0.96 mg/mL, y para los controles negativos se utilizaron las emulsiones Tween₈₀ y Tween₂₀. Se registró la mortalidad a las 12, 24, 36 y 48 horas posteriores a la aplicación. Se consideraron como muertos a los individuos que no presentaron movimiento, ni respuesta al producto aplicado.

Cuadro 4. Distribución de chinches para bioensayo con *Lippia graveolens*.

Repetición	Chinches	Diluciones
1	10	D1, D2, D3, Imidacloprid/Cipermetrina y testigo
2	9	D1, D2, D3, Imidacloprid/Cipermetrina y testigo
3	9	D1, D2, D3, Imidacloprid/Cipermetrina y testigo

Cuadro 5. Distribución de chinches para bioensayo con *Eucalyptus cinerea*.

Repetición	Chinches	Diluciones
1	9	D1, D2, D3, Imidacloprid/Cipermetrina y testigo
2	9	D1, D2, D3, Imidacloprid/Cipermetrina y testigo
3	10	D1, D2, D3, Imidacloprid/Cipermetrina y testigo

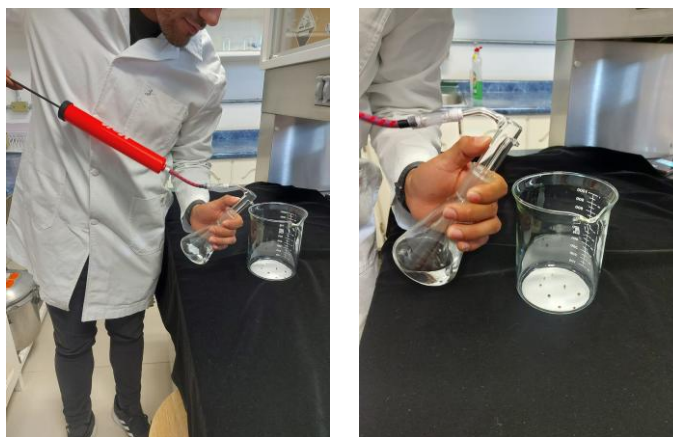


Figura 13. Proceso de método de aspersión.

6.9 Análisis estadístico

Para la evaluación de la actividad insecticida de los aceites esenciales de *Lippia graveolens* y *Eucalyptus cinerea* sobre *C. lectularius*, se aplicaron procedimientos estadísticos dirigidos a analizar tanto la dinámica temporal de la mortalidad como la estimación de parámetros de toxicidad. Se realizó la estadística descriptiva de los datos obtenidos y una revisión correspondiente de los mismos para determinar la existencia de datos aberrantes y obtener una mejor calidad de los datos.

Para los análisis posteriores se realizaron análisis de covarianza (ANCOVA), para el método de difusión y de aspersion. Para determinar la existencia de diferencias significativas entre los tratamientos aplicados, además de observar si hay influencia entre la variable dependiente tiempo final, sobre los factores (tratamientos, grupos de estadios del insecto y diluciones). La fórmula para este análisis se define como:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta x_{ij} + \epsilon_{ij}$$

Donde:

- Y_{ij} : Valor de la variable dependiente para la observación j en el grupo de tratamiento i .
- μ : Media general de la variable dependiente.
- τ_i : Efecto del tratamiento del grupo i .
- β : Coeficiente de regresión que mide la relación entre la covariable y la variable independiente.
- x_{ij} : Valor de la covariable para la observación j en el grupo i .
- ϵ_{ij} : Término de error aleatorio.

Este método estima la probabilidad acumulada de supervivencia de los individuos a lo largo del periodo de observación para cada concentración evaluada (Badii *et al.*, 2008). Este análisis proporcionó información detallada sobre el comportamiento de la mortalidad en función del tiempo, permitiendo realizar comparaciones entre los distintos tratamientos. El procesamiento de estos datos se efectuó utilizando el software Statistica V7.0, considerando un intervalo de confianza del 95% para la interpretación de los resultados.

De manera complementaria, se efectuó un análisis Probit, orientado a estimar la dosis letal media (DL₅₀), el cual está representado por la siguiente fórmula:

$$P(Y = 1|X) = \Phi(\beta_0 + \beta_1X_1 + \beta_2X_2 + \dots + \beta_kX_k)$$

Donde:

- $P(Y = 1 | X)$: probabilidad de que la variable dependiente (Y) sea igual a 1 (éxito u ocurrencia del evento), dado un conjunto de variables independientes (X).
- Φ : función de distribución acumulativa normal estándar.
- β_0 : intercepto (el valor de la probabilidad cuando todas las variables independientes son cero).
- $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$: coeficientes de regresión que indican el impacto de cada variable independiente en la probabilidad.
- X_1, X_2, \dots, X_k : variables independientes que influyen en la probabilidad.

El análisis Probit permitió cuantificar la eficacia de los aceites esenciales en términos de la dosis necesaria para inducir la mortalidad del 50% de la población expuesta (Liu, 2023). Este análisis se realizó mediante el software Microsoft Excel, aplicando los modelos de regresión Probit correspondientes y considerando igualmente un intervalo de confianza del 95% para las estimaciones de los parámetros. Ambos análisis permitieron integrar una evaluación robusta y complementaria de la eficacia insecticida de los extractos evaluados, considerando tanto la respuesta dosis-dependiente como la dinámica temporal de la mortalidad en las poblaciones de *C. lectularius*.

7. RESULTADOS

7.1 Cría estandarizada de *C. lectularius*

Se recolectaron un total de 380 adultos provenientes de cinco viviendas y un centro de rehabilitación ubicados en la ciudad de Durango, sin considerar la cantidad de ninfas, ni huevos presentes en los sitios. Durante los siete meses que duró el mantenimiento de la colonia se lograron reproducir dos generaciones incompletas bajo las condiciones de humedad y temperatura del área de cría.

Una vez estandarizado el método de alimentación, la cría se estabilizó lo que permitió mantener el ciclo reproductivo de los adultos y el desarrollo de las ninfas en condiciones estables.

El ciclo de vida completo, desde la eclosión del huevo hasta la llegada al estadio adulto, se registró con una duración promedio de 55 días. Cada estadio ninfa presentó un desarrollo de entre 11 a 12 días, aunque hubo variaciones atribuibles a las condiciones ambientales que prevalecieron durante el experimento. A pesar de lo anterior, se obtuvieron 60 adultos y se documentó la eclosión de 30 ninfas nacidas en condiciones de laboratorio (Figura 14).



Figura 14. Diferentes estadios pertenecientes a la 2da generación de la cría.

7.2 Obtención de aceites esenciales

El mayor rendimiento de aceites esenciales se obtuvo del orégano, con un volumen de 5.68 mL/100 g de planta, correspondiente a un rendimiento del 5.34 %, seguido por el eucalipto dólar con 4.03 mL/100 g y un rendimiento de 3.73 % (Cuadro 6).

Cuadro 6. Rendimiento de aceites esenciales de las plantas recolectadas.

Nombre común	Nombre científico	V/100g	Rendimiento (%)	DR (g/mL)	ÍR
Eucalipto dólar	<i>Eucalyptus cinerea</i> .	4.03	3.73	0.9225	1.4569
Orégano	<i>Lippia graveolens</i>	5.68	5.34	0.94	1.5052

V/100 g = Vol de aceite esencial por 100 g de muestra; DR = Densidad relativa; IR = Índice de refracción.

7.3 Bioensayo *in vitro*. Método de Difusión

7.3.1 Análisis

Los resultados indican que los datos no presentan una distribución normal de acuerdo con la prueba de Kolmogorov-Smirnov (K-S). Las concentraciones aplicadas oscilaron entre 0 y 154.98 mg/mL con un promedio de 46.29 mg/mL.

Debido a que los histogramas de distribución correspondientes a cada variable analizada se observó una distribución asimétrica, por lo que se realizó un análisis estadístico no paramétrico (Figura 15).

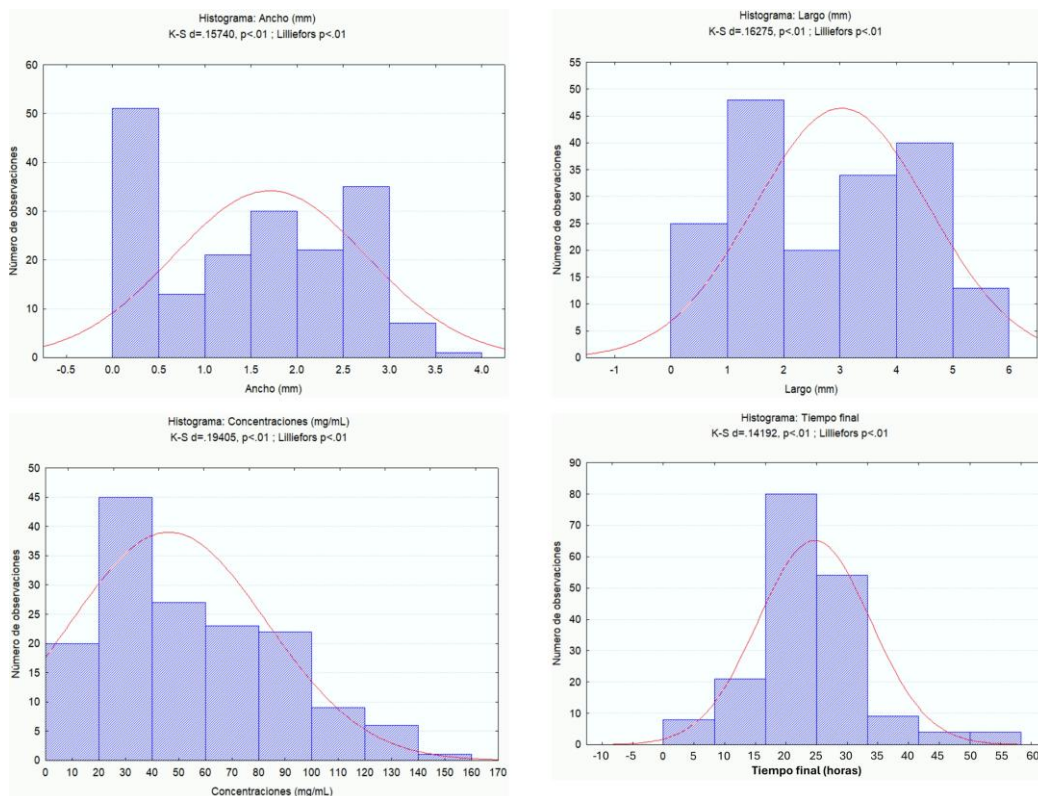


Figura 15. Histogramas de distribución normal de las variables analizadas.

7.3.2 Análisis de covarianza (ANCOVA)

El análisis de covarianza (ANCOVA) mostró diferencias significativas en el tiempo final de mortalidad de *C. lectularius* entre los tratamientos ($F(10,178) = 5.5878$, $p < 0.001$). Se observó una interacción significativa entre los factores tipo de aceite esencial, dilución y estadio, indicando que la eficacia de los aceites esenciales varió según la concentración y el grupo de desarrollo de los insectos.

- En el grupo I, los tiempos de mortalidad fueron más bajos con las mayores concentraciones ($D_3 - D_4$), especialmente con el aceite de orégano, lo que indica una acción más rápida. En contraste, el aceite de eucalipto mostró tiempos finales más altos, similares o incluso superiores al control positivo (deltametrina) y al testigo. Esto sugiere que el orégano fue más efectivo sobre los estadios primarios.
- En el grupo II. El patrón general muestra una reducción del tiempo final con las diluciones más concentradas ($D_3 - D_4$) pero con menor diferencia entre ellas. Los valores tienden a ser intermedios y con solapamiento en las barras de error, lo que indica una menor variabilidad en la respuesta. Ambos aceites esenciales mantuvieron eficacia comparable a la del control positivo, aunque el orégano conserva una ligera ventaja.
- Por último, en el grupo III, los tiempos finales fueron más uniformes entre tratamientos, sin diferencias marcadas entre orégano y eucalipto, indicando una menor susceptibilidad de los adultos a los aceites esenciales. En general, el aceite esencial de orégano mostró una acción insecticida más rápida y consistente en comparación con la del aceite esencial de eucalipto, aunque ambos fueron tan eficaces al igual que la deltametrina.

Los aceites esenciales mostraron un efecto claro sobre la dosis-respuesta, incluso mayor a la deltametrina, lo que evidencia su alto potencial insecticida frente a *C. lectularius* (Figura 16).

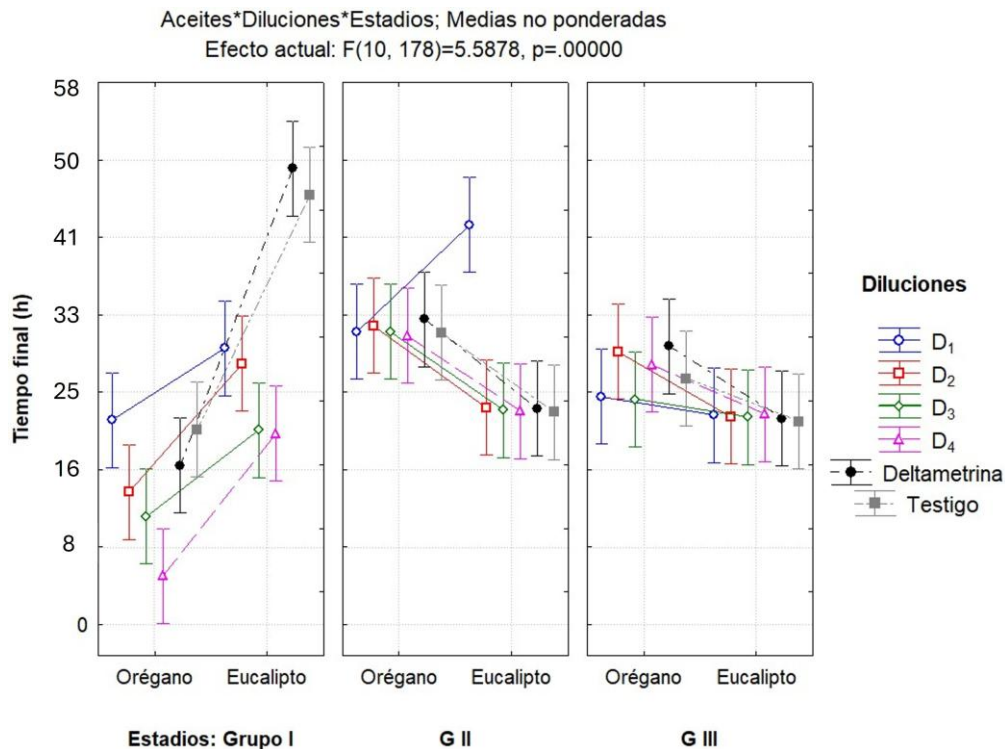


Figura 16. ANCOVA de la variable dependiente (tiempo final) con los diferentes factores, donde se muestra que sí hay diferencias significativas entre las diluciones aplicadas y los controles.

7.3.3 Análisis de supervivencia. Método no paramétrico de Kaplan-Meier

- a) El tratamiento con aceite esencial de eucalipto (línea rosa) provocó una mortalidad aguda a las 21 h. El aceite de orégano (línea azul) mostró una mortalidad gradual, pero mayor que la del aceite esencial de eucalipto (14 h); lo que supone una mayor persistencia del efecto insecticida.
- b) El tratamiento con deltametrina mantuvo una mayor proporción de sobrevivientes durante más tiempo (más de 43 h); sin embargo, se observó la mayor mortalidad alrededor de las 23 h. A pesar de ello, mantuvo una proporción de supervivencia superior al 50%, lo que indica una eficacia intermedia en este bioensayo.
- c) El testigo, al igual que el producto comercial con deltametrina, también mantuvo la mayor proporción de sobrevivientes durante más tiempo y también se observó

una caída de la mortalidad significativa alrededor de las 23 h. Finalmente se presentó una supervivencia del 60% de los insectos en este tratamiento.

Estos resultados respaldan la actividad insecticida de los aceites esenciales, siendo *L. graveolens* el tratamiento más eficaz en términos de supervivencia acumulada de los individuos expuestos a lo largo del tiempo de observación (Figura 17).

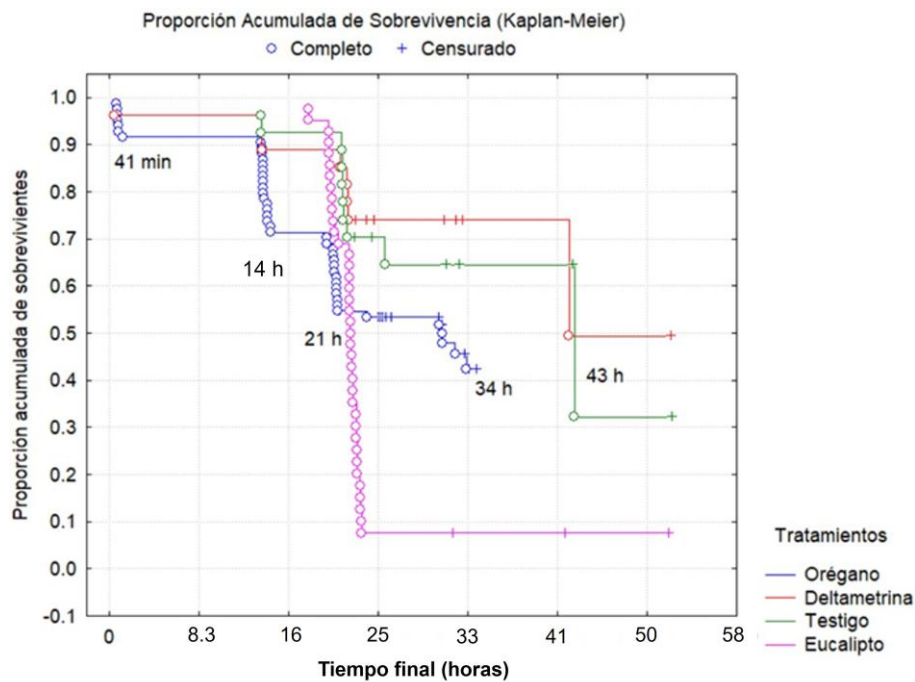


Figura 17. Análisis de supervivencia de Kaplan-Meier por el método de difusión.

7.3.4 Determinación de la DL₅₀ para *L. graveolens*

De manera complementaria, se efectuó un análisis Probit para determinar la DL₅₀ a través del ajuste dosis-respuesta. Cada concentración abarcó un rango de 0 mg/mL a 95.73 mg/mL. El análisis permitió estimar el porcentaje acumulado de mortalidad en función de las concentraciones aplicadas. A medida que la concentración del aceite esencial se incrementó, se observó un aumento progresivo en la mortalidad de los insectos. A partir del ajuste lineal aplicado a los datos (representado por la línea azul), se calculó el siguiente modelo de regresión:

$$y = 0.0094x + 0.0588, \text{ coeficiente de determinación de } R^2 = 0.9744.$$

Este modelo permitió estimar la dosis letal media (concentración necesaria para inducir la muerte del 50% de la población expuesta). La DL_{50} se obtuvo gráficamente con un valor de **50.6 mg/mL** (indicado en el punto de intersección de las líneas punteadas en la gráfica). El valor de R^2 (0.9744) indica un buen ajuste del modelo de los datos experimentales, lo que confirma la confiabilidad estadística de la estimación realizada para este bioensayo.

El testigo, la deltametrina y las D_1 y D_2 tuvieron mortalidades menores del 50%; mientras que, las diluciones D_3 y D_4 se podrían utilizar en función del grado de infestación de esta plaga (Figura 18).

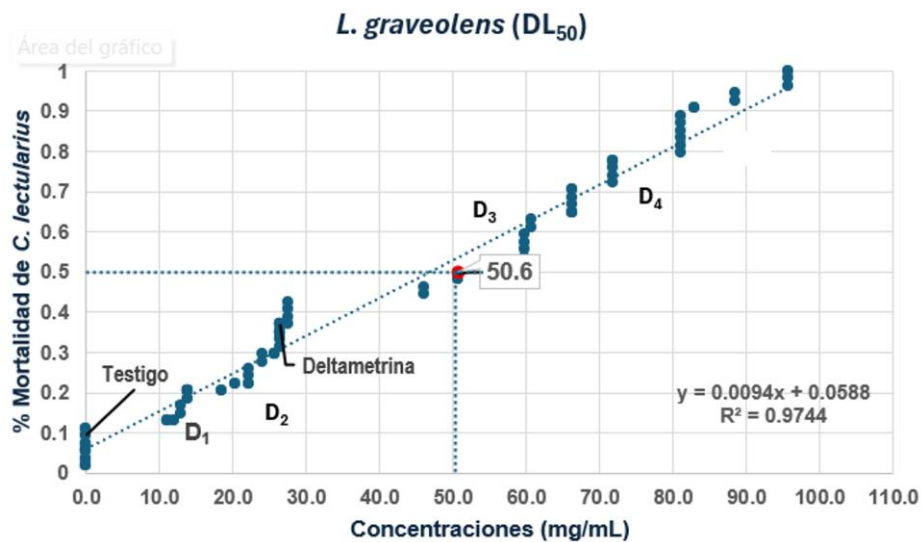


Figura 18. Análisis Probit del tratamiento con aceite esencial de *Lippia graveolens* por el método de difusión.

7.3.5 Determinación de la DL_{50} para *E. cinerea*

Al igual que en el bioensayo anterior, se realizó el ajuste dosis-respuesta mediante el modelo Probit, con los datos obtenidos de los tratamientos de *E. cinerea* y los testigos. Se observa un comportamiento sigmoideo en la respuesta biológica, donde a bajas concentraciones la mortalidad fue baja, incrementándose progresivamente conforme se aumentó la dosis, hasta alcanzar el 100% de mortalidad en las concentraciones más elevadas (Figura 19).

A partir del ajuste lineal realizado sobre los datos (línea de tendencia), se obtuvo el siguiente modelo de regresión:

$$y = 0.0069x - 0.0312, \text{ con un coeficiente de determinación de } R^2 = 0.9711.$$

Mediante este modelo se calculó la dosis letal media (**83.0 mg/mL**). En este caso, el coeficiente de determinación refleja un buen ajuste del modelo, similar al obtenido para *L. graveolens*.

En este bioensayo la dilución D₄ tuvo el 80% de mortalidad de los insectos, en comparación con el tratamiento de la deltametrina.

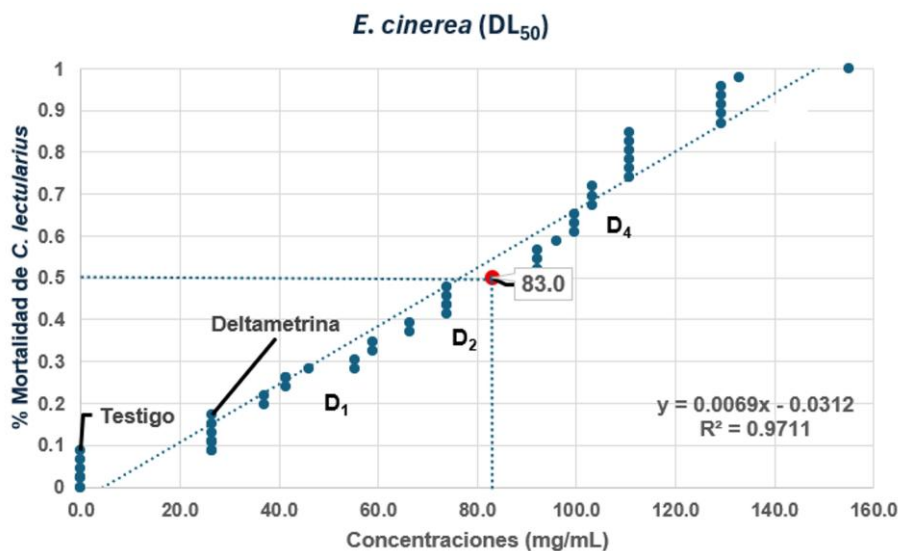


Figura 19. Análisis Probit del tratamiento con aceite esencial de *Eucalyptus cinerea* por el método de difusión.

7.3.6 Análisis de supervivencia por grupos de estadios

En la curva de supervivencia acumulada obtenida mediante el análisis de Kaplan-Meier, que evalúa el efecto insecticida de los tratamientos sobre diferentes estadios de desarrollo de *C. lectularius* se consideraron como variables: el evento (completo o censurado), la ocurrencia del evento (tiempo final) y el estadio biológico de los especímenes (grupos I, II, III) (Figura 20).

Los resultados evidencian que el grupo I (estadio 1 y 2) fueron más susceptibles a los distintos tratamientos, ya que la mortalidad de este grupo empezó a los 41 min. Se observó que gran parte de los individuos del mismo grupo murieron aproximadamente a las 13 h, tiempo después se registró que otro porcentaje de los ejemplares murieron a las 23 h. Sin embargo, este grupo mantuvo el mayor tiempo de sobrevivencia hasta las 48 h de observación.

El grupo III (estadio 5 y adulto) y grupo II (estadios 3 y 4) presentaron mayor tolerancia a los tratamientos, donde se registró la mortalidad de estos ejemplares a las 23 h. Sin embargo, el tiempo de sobrevivencia no fue tan prolongado como el del grupo I, ya que todos los ejemplares del grupo II y III murieron aproximadamente a las 33 h.

Estos resultados sugieren que la eficacia de los tratamientos y el método de aplicación fueron más efectivos en los estadios primarios, ya que probablemente son más vulnerables, debido a diferencias de tamaño, grosor de la cutícula, metabolismo o exposición superficial lo que concuerda con los resultados publicados por Singh *et al.* (2013, 2014) quienes trabajaron con los aceites esenciales de clavo y menta sobre *C. lectularius*.

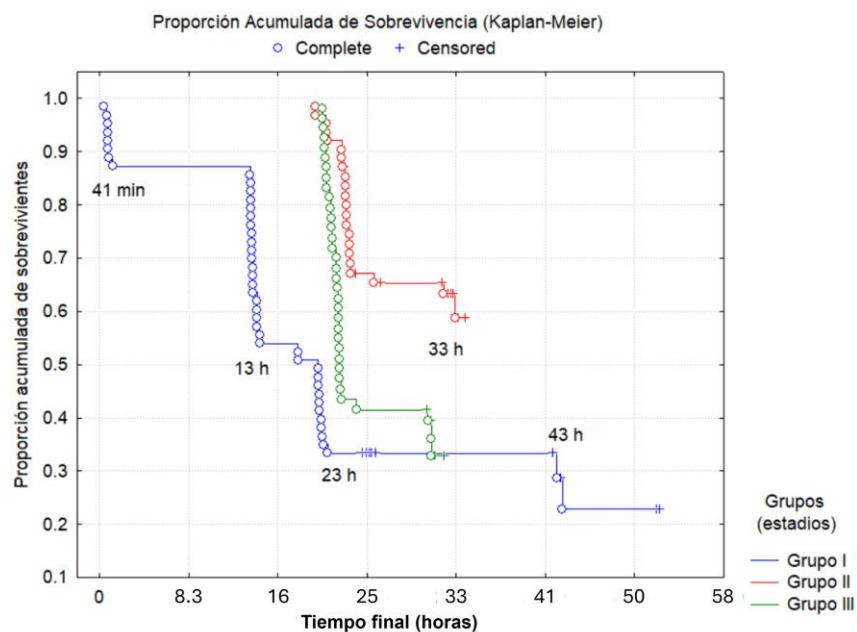


Figura 20. Análisis de sobrevivencia por estadios (grupo I, II, III) por el método de difusión.

7.4 Bioensayo *in vitro*. Método de Aspersión

7.4.1 Análisis descriptivo

Para el siguiente bioensayo se realizó un análisis descriptivo con las mismas las variables cuantitativas registradas para el primer bioensayo, estas incluyen el ancho y largo corporal de las chinches, las concentraciones de los tratamientos aplicados y el tiempo final de exposición y muerte de los insectos.

Los resultados indican que los datos analizados no presentan una distribución normal, de acuerdo con la desviación estándar de cada variable analizada. Las concentraciones aplicadas oscilaron entre 0 y 13.58 mg/mL, con un promedio de 8.28 mg/mL y una desviación estándar de 4.86. en cuanto al tiempo final, se observó una media de 20 h y una desviación estándar de 9 h.

En los histogramas de distribución correspondientes a cada variable analizada se observa que las cuatro variables analizadas presentan una distribución asimétrica de acuerdo con la prueba de Kolmogorov-Smirnov (K-S), por lo que se optó por realizar un análisis estadístico no paramétrico para comparación entre grupos (Figura 21).

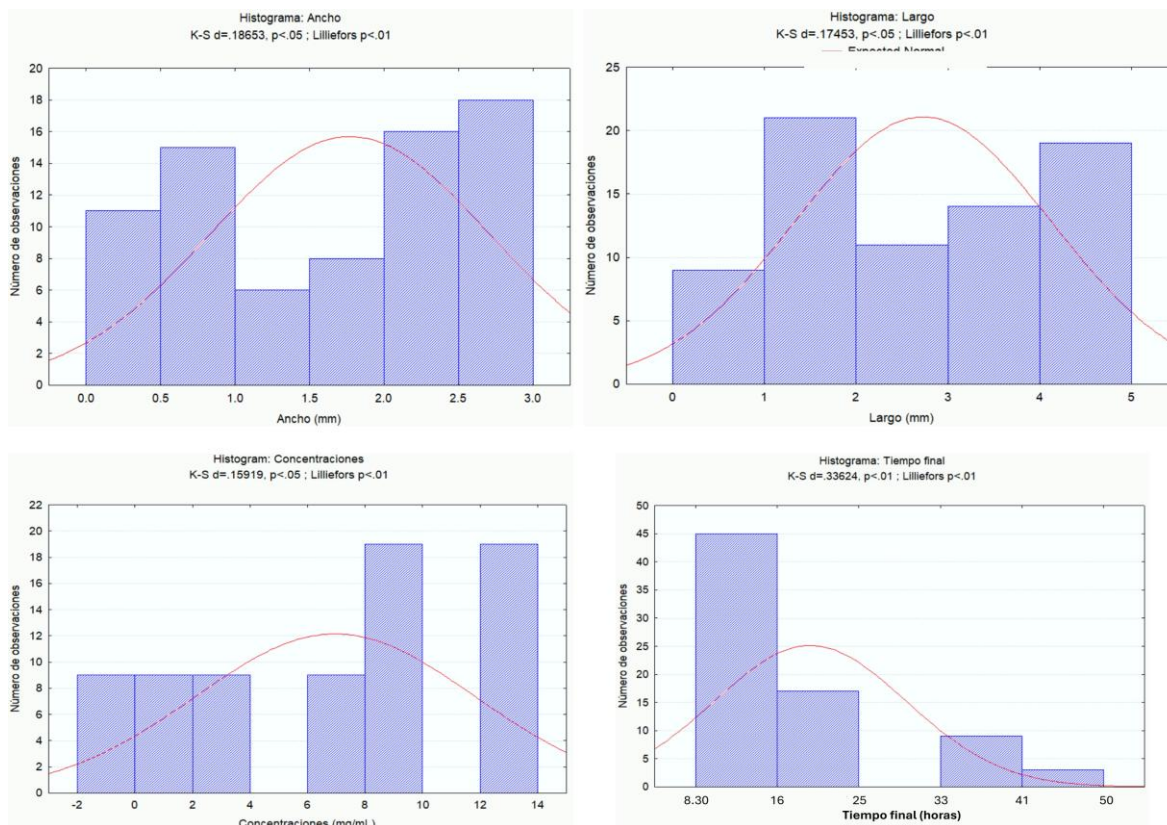


Figura 21. Histogramas de distribución normal de las variables analizadas.

7.4.2 Análisis de covarianza (ANCOVA)

Este análisis mostró un efecto altamente significativo de la interacción entre los factores aceite esencial, dilución y estadio sobre el tiempo final de mortalidad de *C. lectularius* ($F(8,58) = 6.1735, p = 0.00001$). Lo cual indica que la eficacia de los tratamientos depende simultáneamente del tipo de aceite esencial, la concentración aplicada y el estadio de desarrollo de los insectos.

En general se observó que:

- En el grupo I, las diluciones del aceite esencial de orégano mostraron comportamientos variables en cuanto al tiempo final de mortalidad de las chinches. En contraste, el aceite esencial de eucalipto presentó tiempos finales más uniformes y menos sensibles al cambio de dilución, indicando una eficacia más rápida en los estadios primarios.
- Para el grupo II, el aceite esencial de orégano mantuvo el mismo comportamiento variable entre las diluciones aplicadas y el tiempo final de

mortalidad de las chinches, mientras que el aceite esencial de eucalipto mostró una respuesta similar a los estadios primarios, lo que refleja una eficacia más rápida en comparación al tratamiento con orégano.

- En el grupo III, ambos aceites esenciales presentaron tiempos finales similares entre sí, sin diferencias notables entre las diluciones, sugiriendo que la susceptibilidad de los adultos es notoria con estos tratamientos.
- Por último, el control positivo tuvo una eficacia más rápida en comparación con los tratamientos de aceites esenciales, ya que este insecticida comercial es altamente tóxico al aplicarse de manera directa como se realizó en este bioensayo (Figura 22).

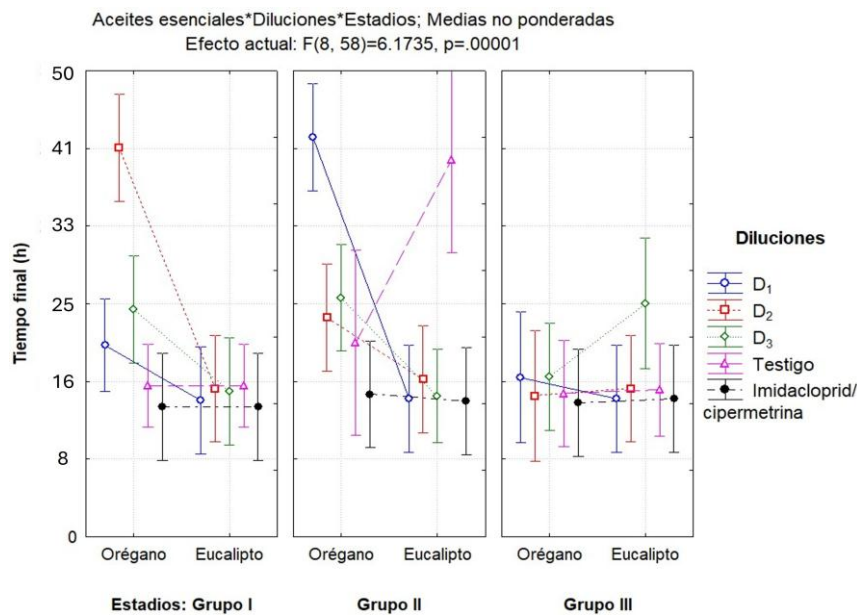


Figura 22. ANCOVA de la variable dependiente (tiempo final) con los diferentes factores, donde se muestra que sí hay diferencias significativas entre las diluciones aplicadas y los controles.

7.4.3 Análisis de supervivencia. Método no paramétrico de Kaplan-Meier

Las curvas de supervivencia obtenidas mediante el análisis indican:

- a) El efecto insecticida del producto comercial que contenía imidacloprid/cipermetrina tuvo una caída abrupta de casi el 100% de mortalidad a las 13 h. Esta eficacia letal temprana probablemente se deba a la acción insecticida sinérgica de la combinación de los dos principios activos. Así mismo, a que esta emulsión se adhirió con mayor facilidad al cuerpo del insecto.

- b) El tratamiento con eucalipto (línea roja) también presentó una alta tasa de mortalidad que alcanzó valores cercanos de casi 100% a las 16 h de la exposición del producto, lo que demuestra una acción insecticida notable, aunque en menos tiempo que en el tratamiento del insecticida comercial.

- c) El grupo tratado con orégano (línea azul) presentó una curva de mortalidad más prolongada y sostenida en el tiempo de observación. Aunque la tasa de mortalidad fue más lenta en comparación con los otros tratamientos, la mortalidad de los sujetos de prueba fue ligeramente mayor que la del aceite esencial de eucalipto (22 h), además, sobrevivió el 5% de los individuos. Este comportamiento podría deberse a que esta emulsión no está acondicionada como producto terminado como es el caso de un producto comercial por lo que su adherencia al exoesqueleto de los insectos es mínima. Además, la volatilidad de los componentes del aceite esencial de eucalipto es más alta comparada con la volatilidad de los componentes del aceite esencial de orégano.

Estos resultados confirman que los aceites esenciales evaluados ejercieron efectos insecticidas significativos sobre la población expuesta, en donde el tratamiento con orégano tuvo mayor persistencia, y el insecticida comercial fue de acción inmediata. (Figura 23).

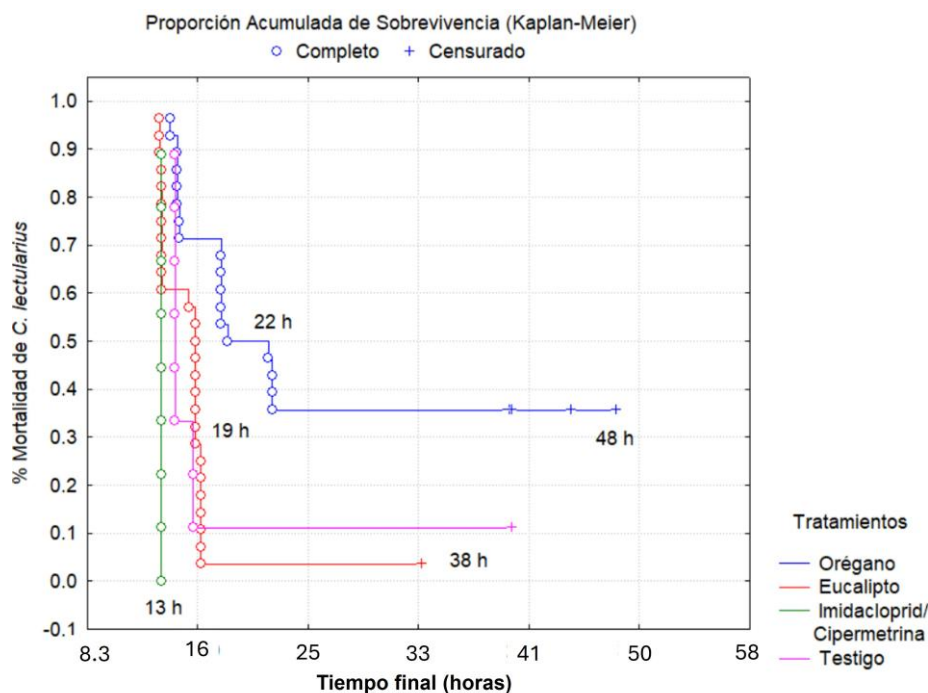


Figura 23. Análisis de supervivencia de Kaplan-Meier por el método de aspersión.

7.4.4 Determinación de la DL_{50} para *L. graveolens*

A partir de los datos obtenidos en el bioensayo por aspersión con el aceite esencial de *L. graveolens* y los testigos, se realizó el análisis Probit para obtener la curva de dosis-respuesta. El análisis permitió estimar el porcentaje acumulado de mortalidad en función de las concentraciones aplicadas.

El ajuste lineal aplicado a los datos se calculó el modelo de regresión (representado por la línea punteada azul):

$$y = 0.0497x + 0.2813, \text{ con un coeficiente de determinación de } R^2 = 0.8236.$$

Este análisis permite obtener la DL_{50} directamente del gráfico, la cual tiene un valor de **3.31 mg/mL**, mientras que las concentraciones D_2 y D_3 , podrían utilizarse en infestaciones mayores.

En cuanto el valor de R^2 (0.08236) señaló que los datos experimentales no se ajustaron totalmente al modelo utilizado (Figura 24).

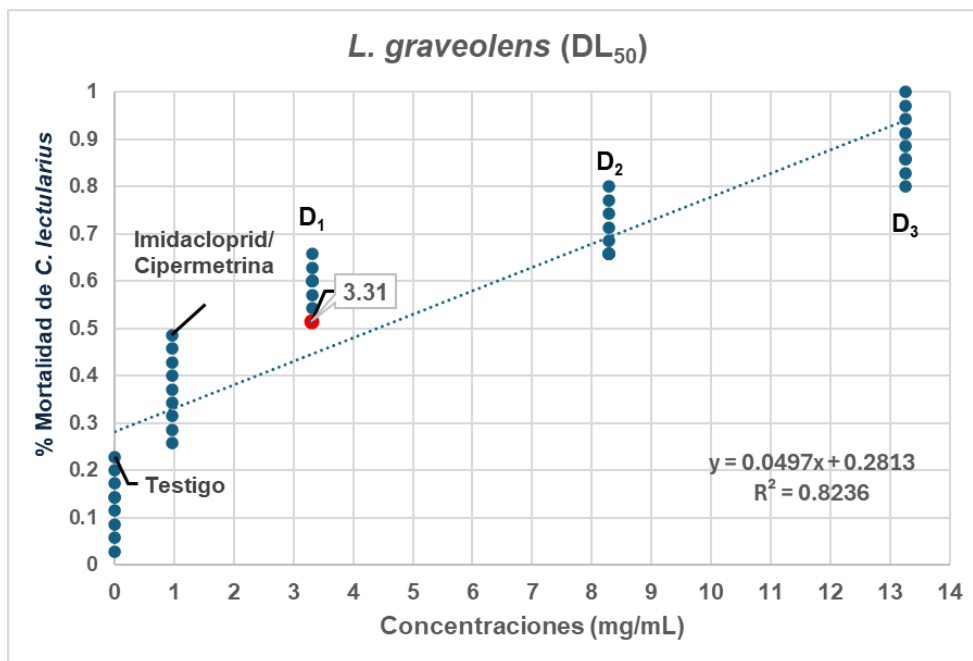


Figura 24. Análisis Probit del tratamiento con aceite esencial de *Lippia graveolens* por el método de aspersión.

7.4.5 Determinación de la DL₅₀ para *E. cinerea*

Al igual que en el bioensayo anterior, se realizó el ajuste dosis-respuesta con los datos obtenidos de los tratamientos de *E. cinerea* y los testigos por el método de aspersión. En este caso las concentraciones abarcaron el rango de 0 - 13.58 mg/mL. A partir del ajuste lineal aplicado a los datos, el modelo de regresión fue el siguiente:

$$y = 0.0559x + 0.1679, \text{ con un coeficiente de determinación de } R^2 = 0.9334.$$

Para este modelo la DL₅₀ obtenida gráficamente fue de **6.64 mg/mL** y se observó que el tratamiento con aceite esencial de eucalipto produjo un porcentaje de mortalidad ligeramente superior al registrado con las diluciones de orégano, lo que sugiere una mayor eficacia insecticida en las primeras horas de exposición del aceite esencial de eucalipto. Las concentraciones D₂ y D₃, podrían utilizarse para el control de infestaciones mayores, ya que se registró un porcentaje de mortalidad del más del 80% de los individuos.

El valor de R^2 (0.9334) indica un buen ajuste del modelo a los datos experimentales, lo que confirma la confiabilidad estadística de la estimación realizada para este bioensayo (Figura 25).

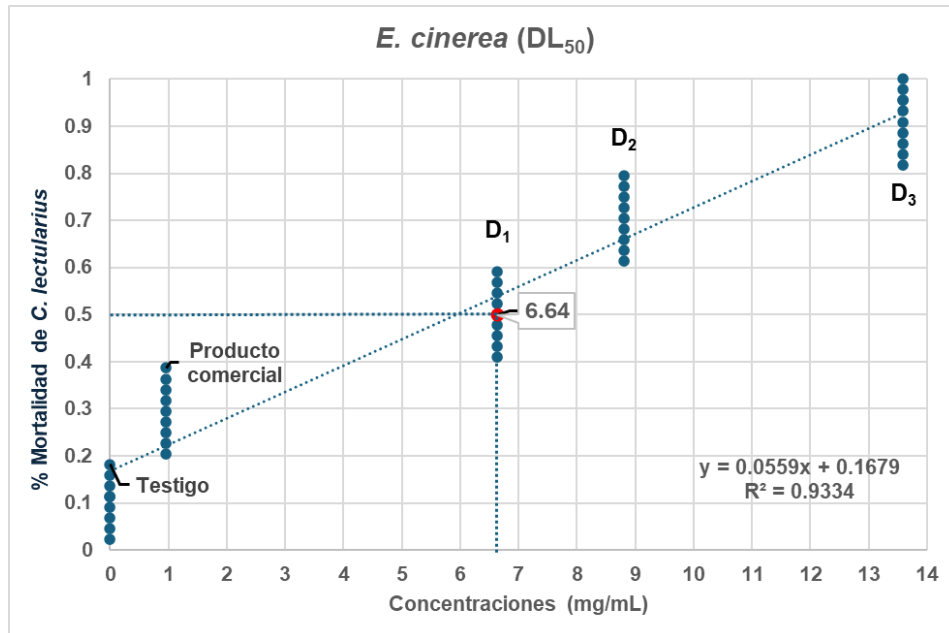


Figura 25. Análisis Probit del tratamiento con aceite esencial de *Eucalyptus cinerea* por el método de aspersión.

7.4.6 Análisis de supervivencia por grupos de estadios

En la curva de supervivencia acumulada obtenida mediante el análisis de Kaplan-Meier, que evalúa el efecto insecticida de los tratamientos sobre diferentes estadios de desarrollo de *C. lectularius* se consideraron como variables: el evento (completo o censurado), la ocurrencia del evento (muerte) y el estadio biológico de los especímenes.

Los resultados evidencian que el grupo I fueron más susceptibles al efecto insecticida de los distintos tratamientos y casi igual al grupo III. Por el contrario, el grupo II presentó mayor tolerancia a los tratamientos, lo que mantuvo los niveles de supervivencia más elevados a lo largo del tiempo de observación.

El grupo I tuvo una respuesta inmediata (menos de 13 h). Estos resultados sugieren que la eficacia de los tratamientos puede estar influenciada por el estadio biológico

de las chinches, en donde los adultos y estadios primarios son más vulnerables, posiblemente debido a diferencias de tamaño, grosor de la cutícula, metabolismo o exposición superficial lo que concuerda con los resultados publicados por Singh *et al.* (2013, 2014) quienes trabajaron con los aceites esenciales de clavo y menta sobre *C. lectularius* (Figura 26).

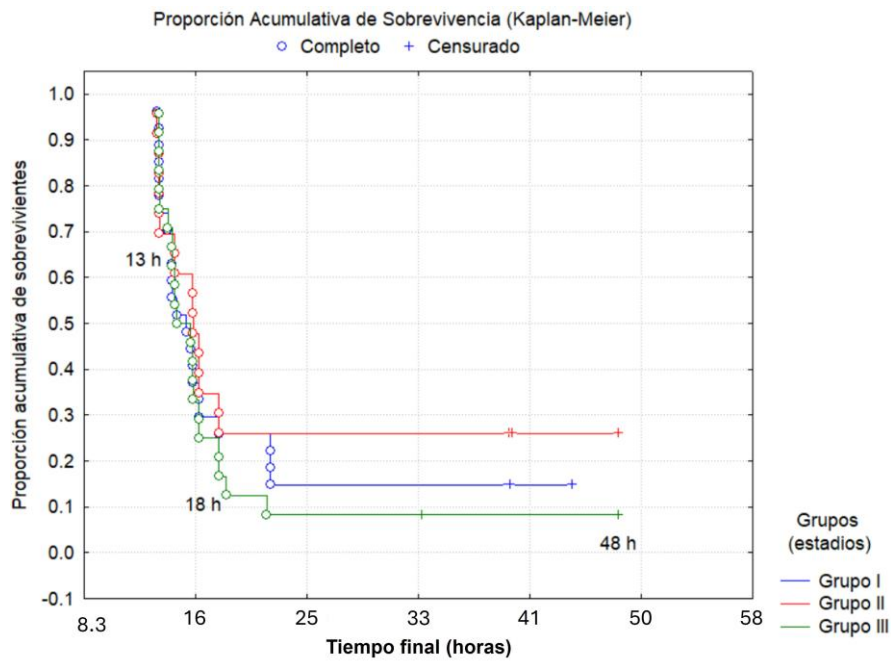


Figura 26. Análisis de supervivencia por estadios (grupo I, II, III) por aspersión.

8. DISCUSIÓN

Los rendimientos de los aceites esenciales varían según la especie, parte de la planta (hojas o ramas), del estado fenológico de la planta al momento de recolectarse, método de extracción, tiempo de destilación y condiciones ambientales en donde se desarrollan las distintas especies (Manjarrez-Quintero *et al.*, 2024). Autores como Soto-Armenta *et al.* (2017) confirman que el rendimiento del aceite esencial de *L. graveolens* mediante la destilación por arrastre de vapor, obtuvieron rendimientos de 4% – 6%, lo que es comparable con el rendimiento del aceite esencial que se obtuvo en esta investigación el cual fue de 5.34%, por el mismo método de destilación por arrastre de vapor.

Con *E. cinerea* se han reportado rendimientos de aceites esenciales entre 2.48% – 6.07%, por otras técnicas de extracción como la hidrodestilación, soxhlet y ultrasonicación (Baskaran *et al.*, 2024). Al comparar estos rendimientos con los obtenidos en el presente estudio, se obtuvo un rendimiento de 3.37%, mediante el método de extracción de arrastre con vapor.

En cuanto al establecimiento de la cría de *C. lectularius* bajo condiciones de laboratorio, se presentaron variaciones de temperatura (min. 18°C – max.33°C) y humedad relativa (min. 13% – max. 69%) debido a condiciones atípicas del clima durante los meses de junio a septiembre de 2024, lo cual afectó el desarrollo normal de los organismos de prueba.

El proceso de alimentación directa sobre los roedores en esta investigación fue más tardado que el utilizado por otros autores (Elbanoby, 2019; Yu *et al.*, 2023 y Banerjee *et al.*, 2024) quienes también trabajaron con *C. lectularius*, pero alimentaron con sangre de conejo desfibrilada a través de un sistema de alimentación por membrana Hemotek (Discovery Workshops, Accrington, UK). Además, las cámaras de cría que ellos utilizaron estaban estandarizadas con las condiciones de temperatura y humedad óptimas.

En estudios realizados para el control de *C. lectularius* se ha reportado que existen cepas resistentes de estos insectos a piretroides como la deltametrina, pero no a la aplicación de aceites esenciales de orégano (*Origanum vulgare*) (Gaire *et al.*, 2020). Este efecto coincide con los resultados del método de difusión del presente estudio, donde también se comprobó la eficacia de los aceites esenciales de orégano y eucalipto, además de la resistencia hacia la deltametrina.

En este bioensayo por difusión, el análisis de sobrevivencia demostró que el tratamiento con aceite esencial de orégano fue más eficaz que el de eucalipto y del insecticida comercial. Sin embargo, en el bioensayo por el método de aspersion, el análisis de sobrevivencia indicó que el tratamiento con aceite esencial de eucalipto tuvo mejor respuesta insecticida que los demás tratamientos con aceite esencial de orégano y los controles. A diferencia de trabajos previos donde se han empleado métodos de impregnación o contacto directo, en el presente estudio se evaluó la eficacia del método de aspersion, permitiendo una aproximación más cercana a posibles aplicaciones prácticas en todo tipo inmuebles (Doggett & Lee, 2023).

El análisis Probit para este mismo método, mostró que el aceite esencial de *L. graveolens* presentó una DL₅₀ de 50.6 mg/mL, mientras que para *E. cinerea* alcanzó un DL₅₀ de 83.0 mg/mL. Estos resultados indican una mayor eficacia insecticida de *L. graveolens* bajo las condiciones evaluadas y en concentraciones menores. Trabajos previos han reportado concentraciones similares para aceites esenciales de origen botánico sobre chinches de cama, tales como: Orégano (*Origanum vulgare*), eucalipto (*Eucalyptus dives*), tomillo (*Thymus vulgaris*), anís estrella (*Illicium verum*), hierbabuena (*Mentha spicata*), entre otros (Zha *et al.*, 2017).

El análisis de sobrevivencia por grupos de estadios para el bioensayo por método de aspersion evidenció que los estadios ninfales de los grupos I y III fueron más susceptibles a los tratamientos durante el tiempo de exposición, presentando tiempos de mortalidad total menores en comparación con los estadios del grupo II. Este patrón podría explicarse por las diferencias morfológicas y fisiológicas entre los distintos estadios; los individuos jóvenes presentan cutículas más delgadas,

menor capacidad detoxificadora y mayor permeabilidad cuticular, facilitando la acción de los compuestos activos (Romero *et al.*, 2007; Singh *et al.*, 2014).

Este comportamiento ha sido documentado en estudios previos, donde se ha señalado que la eficacia de los aceites esenciales puede variar significativamente según el método de exposición utilizado (Singh *et al.*, 2014; Zha *et al.*, 2017). Por ejemplo, Singh *et al.* (2014) demostraron que algunos compuestos de los aceites esenciales son más efectivos cuando se aplican por contacto directo, mientras que Zha *et al.* (2017) reportaron que la actividad insecticida puede disminuir en formulaciones que dependen de la volatilización del compuesto. Estos hallazgos coinciden con los resultados obtenidos en el presente estudio, donde el aceite de orégano mostró mayor persistencia en condiciones de difusión, mientras que el eucalipto fue más efectivo al ser aplicado por aspersion directa.

Esto sugiere que el método de aplicación de los tratamientos influye en la mortalidad de *C. lectularius*, probablemente debido a diferencias en la penetración, volatilidad y cobertura del compuesto sobre el insecto (Ramos *et al.*, 2023).

Otros estudios también han evaluado la actividad insecticida de los aceites esenciales de *E. cinerea* en otras especies de insectos (Bertoni, 2013); sin embargo, no se había comprobado su eficacia directamente sobre *C. lectularius*. Los resultados obtenidos en el presente estudio aportan evidencia experimental de que *E. cinerea* presenta actividad insecticida efectiva contra esta plaga, lo que sugiere que podría considerarse como una alternativa adicional dentro de los programas de control de chinches de cama.

9. CONCLUSIONES

El presente estudio proporciona evidencia experimental sobre la eficacia insecticida de los aceites esenciales de *L. graveolens* y *E. cinerea* frente a distintas fases biológicas de *C. lectularius*, a través de bioensayos *in vitro* mediante los métodos de difusión y aspersión. Los análisis realizados permitieron determinar diferencias en la susceptibilidad de la plaga según el estadio de desarrollo, en donde los estadios ninfales tempranos (I y II) y en el último estado ninfal y en la etapa adulta fueron los más sensibles a la acción de los tratamientos aplicados.

El aceite esencial de *L. graveolens* mostró mayor eficacia insecticida bajo las condiciones experimentales por el método de difusión, que registró una DL₅₀ de 50.6 mg/mL, mientras que *E. cinerea* alcanzó una DL₅₀ de 83.0 mg/mL. Lo mismo ocurrió con el método de aspersión en donde la DL₅₀ para *L. graveolens* fue de 3.31 mg/mL y de 6.64 mg/mL para *E. cinerea*.

En cuanto a los productos químicos evaluados, en el caso de la deltametrina la sobrevivencia fue paralela con el testigo del método de difusión lo que implica la alta resistencia que tiene este producto químico hacia la mortalidad de *C. lectularius*. En el caso del imidacloprid/cipermetrina utilizados para el método de aspersión, el tiempo de mortalidad fue más rápido y fulminante a la dosis indicada por el fabricante. Esta mezcla tiene un efecto insecticida más potente por la sinergia de los compuestos ya que de manera individual su acción insecticida es menos tóxica a estas plagas.

Asimismo, este estudio aporta nuevos datos sobre la actividad de *E. cinerea* frente a *C. lectularius*, especie en la que no se habían documentado previamente estos efectos, ampliando así el conocimiento sobre el potencial de los aceites esenciales como alternativas para el manejo integrado de chinches de cama, especialmente en escenarios donde existe resistencia a insecticidas convencionales.

En conjunto, los resultados obtenidos respaldan el potencial de los aceites esenciales de *L. graveolens* y *E. cinerea* como alternativas complementarias dentro

de los programas de control de *C. lectularius*, aunque se reconoce la necesidad de realizar estudios adicionales que evalúen su eficacia a largo plazo, formulaciones estables con fines comerciales, así como su aplicación práctica en infestaciones severas de esta plaga.

En un ámbito complementario, resulta importante considerar que, a pesar de los efectos prometedores de los aceites esenciales en el control de *C. lectularius*, para su aplicación práctica, también se debe tomar en cuenta la variabilidad en la composición química de los aceites esenciales, la corta duración de su efecto residual y la necesidad de optimizar formulaciones estables de liberación controlada para aplicaciones prácticas a nivel comercial (Regnault-Roger *et al.*, 2012; Isman, 2020).

10. LITERATURA CITADA

- Achimón, F., Beato, M., Brito V. D., Peschiutta, M. L., Herrera, J. M., Merlo, C., Pizzolito, R. P., Zygadlo, J. A. & Zunino, M. P.. (2022). Efecto insecticida y repelente de aceites esenciales obtenidos de la flora aromática argentina. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*. 57, 651–670. <https://doi.org/10.31055/1851.2372.v57.n4.37995>
- Acuña Corrales, J. V. (2008). Evaluación del efecto insecticida de aceites esenciales selectos sobre mosca blanca (*Bemisia tabaci*). Tesis de licenciatura. Universidad Nacional de Costa Rica.
- Aghaei-Afshar, A., Sharififard, M., Jahanifard, E., Gorouhi, M. A., Yousefi, S., Shirani-Bidabadi, L. & Alizadeh, I. (2023). Application of plants as eco-friendly components against common bed bugs (*Cimex lectularius* L.): a systematic review of the literature. *Journal of Essential Oil Research*. 35, 238–246. <https://doi.org/10.1080/10412905.2023.2167882>
- Agnew, J. L. & Romero, A. (2017). Behavioral responses of the common bed bug, *Cimex lectularius*, to insecticide dusts. *Insects*. 8, 1–11. <https://doi.org/10.3390/insects8030083>
- Akhoundi, M., Sereno, D., Durand, R., Mirzaei, A., Bruel, C., Delaunay, P., Marty, P. & Izri, A. (2020). Bed bugs (Hemiptera, Cimicidae): Overview of classification, evolution and dispersion. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 17, 1–20. <https://doi.org/10.3390/ijerph17124576>
- Aldana, F. & Cruz, S. (2017). Actividad larvicida de aceites esenciales de *Lippia alba* y *Lippia graveolens* contra *Aedes aegypti* L. *Revista Científica*. 26, 36–47.

- Araujo, R. N., Costa, F. S., Gontijo, N. F., Gonçalves, T. C. & Pereira, M. H. (2009). The feeding process of *Cimex lectularius* (Linnaeus 1758) and *Cimex hemipterus* (Fabricius 1803) on different bloodmeal sources. *Journal of Insect Physiology*. 55, 1151–1157. <https://doi.org/10.1016/j.jinsphys.2009.08.011>
- Ashbrook, A. R., Scharf, M. E., Bennett, G. W. & Gondhalekar, A. D. (2019). Bed bugs (*Cimex lectularius* L.) exhibit limited ability to develop heat resistance. *PLoS One*. 14, 1–17. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0211677>
- Ashbrook, A. R., McCarthy, J., Huval, F., Reagan, T. E. & Carlton, C. E. (2022). *Cimex lectularius*, bed bug (Hemiptera: Cimicidae). Bug Biz Pest Management and Insect Identification Series. (Pub.3861). Louisiana State University Agricultural Center.
- Badii, M. H., Castillo, J. & Wong, A. (2008). Uso de Análisis de covarianza (ANCOVA) en investigación científica. *Innovaciones de Negocios*. 5, 25–38. <https://doi.org/10.29105/rinn5.9-3>
- Banerjee, A., Saha, A., Das, P., Kakati, A., Saha, B., Goyary, D., Bhutia, Y. D., Karmakar, S., Kishor, S., Rahaman, S. & Chattopadhyay, P. (2024). Optimization and establishment of laboratory rearing conditions for *Cimex lectularius* L. against variable temperature and relative humidity. *Scientific Reports*. 14, 1–19. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-59728-7>
- Baskaran, D., Sathiamoorthy, M., Govindarasu, R. & Byun, H. S. (2024). Comparing diverse extraction methodologies to infer the performance of 1,8 cineole extraction from *Eucalyptus cinerea*: process optimization kinetics, and interaction mechanisms. *RSC Advances*. 14, 35529–35552. <https://doi.org/10.1039/d4ra06050d>

- Bertoni, A. O. (2013). Insecticida natural para el control de *Musca domestica* en base a aceites esenciales y sus componentes. Tesis doctoral. Universidad Católica de Córdoba, Argentina.
- Bliss, C. I. (1934). The method of probits. *Science*. 79, 38–39. <https://doi.org/10.1126/science.79.2037.38>
- Bonnefoy, X., Kampen, H. & Sweeney, K. (2008). Public health significance of urban pests. World Health Organization, Regional Office for Europe.
- Bueno-Marí, R., Moreno Marí, J., Oltra Moscardó, M. T. & Jiménez Peydró, R. (2009). Artrópodos con interés vectorial en la salud pública en España. *Revista Española de Salud Pública*. 83, 201–214.
- Castex, C., Perrin, A., Clément, L., Perréaz, P., Goudet, J. & Christe, P. (2025). Genetic characterization of the bat and human lineages of the common bed bug (*Cimex lectularius*) at a local scale. *Parasitology*. 152, 1–12. <https://doi.org/10.1017/S0031182025000575>
- Cázares-Hernández, J. (2006). Actividad en *Drosophila melanogaster* y *Sitophilus zeamais* (Insecta) de aceites esenciales de plantas usadas para combatir insectos en Hidalgo. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
- Cho, S., Kim, H. C., Eom, H., Lee, J. R., Ko, C. H., Shin, E. H., Lee, W. K., Lee, S. H. & Kim, J. H. (2024). Species identification and pyrethroid resistance genotyping of recently resurgent *Cimex lectularius* and *Cimex hemipterus* in Korea. *Parasites, hosts and diseases*. 62, 251–256. <https://doi.org/10.3347/PHD.24002>
- Chi-Chim, W. A., Baak-Baak, C. M., Talavera-Aguilar, L. & García-Rejón, J. E. (2024). La microencapsulación en insecticidas: una opción eficaz para el

control de artrópodos. *Bioagrocencias*. 17. 68–73.
<https://doi.org/10.56369/BAC.5787>

Cooper, R., Wang, C. & Singh, N. (2015). Mark-release-recapture reveals extensive movement of bed bugs (*Cimex lectularius* L.) within and between apartments. *PLoS One*. 10, 1–20. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0136462>

Dang, K., Doggett, S. L., Veera Singham, G. & Lee, C. Y. (2017). Insecticide resistance and resistance mechanisms in bed bugs, *Cimex* spp. (Hemiptera: Cimicidae). *Parasites & Vectors*. 10, 318. <https://doi.org/10.1186/s13071-017-2232-3>

Davies, T. G., Field, L. M. & Williamson, M. S. (2012). The re-emergence of the bed bug as a nuisance pest: implications of resistance to the pyrethroid insecticides. *Medical and Veterinary Entomology*. 26, 241–254
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2915.2011.01006.x>

Doggett, S. L. & Lee, C. Y. (2023). Historical and contemporary control options against bed bugs, *Cimex* spp. *Annual review of entomology*. 68, 169–190.
<https://doi.org/10.1146/annurev-ento-120220-015010>

Elbanoby, M. I. (2019). The Efficacy of some Insecticides and Essential Oil-Based Products against The Bed Bug, *Cimex lectularius*. *Journal of Plant Protection and Pathology*. 10, 635–638. <https://doi.org/10.21608/JPPP.2019.79454>

Espinosa Carranza, N. N. y Rocha Estrada, A. (2019). Los aceites esenciales y su importancia. *PLANTA*. 15, 7–10.

Fazito do Vale, V., Hevillin Rocha Simtob, B., Ferreira Malta, L. G. & Pessoa de Siqueira, E. (2023). The common bed bug *Cimex lectularius* synthesizes hemozoin as an essential defense against the toxic effects of heme. *Experimental parasitology*. 255, 108653.
<https://doi.org/10.1016/j.exppara.2023.108653>

- Gaire, S., Lewis, C. D., Booth, W., Scharf, M. E., Zheng, W., Ginzel, M. D. & Gondhalekar, A. D. (2020). Bed bugs, *Cimex lectularius* L., exhibiting metabolic and target site deltamethrin resistance are susceptible to plant essential oils. *Pesticide biochemistry and physiology*. 169, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2020.104667>
- Gangloff-Kaufmann, J., Hollingsworth, C., Hahn, J., Hansen, L., Kard, B. & Waldvogel, M. (2006). Bed bugs in America: A pest management industry survey. *American Entomologist*. 52, 105–106.
- Gómez, A. (2023). ¿Cuánto cuesta el servicio de fumigar para eliminar las chinches? Infobae México. Recuperado el 14 de julio de 2025, <https://www.infobae.com/mexico/2023/10/18/cuanto-cuesta-el-servicio-de-fumigar-para-eliminar-las-chinches/>
- González-Elizondo, M. S., González-Elizondo, M. y Márquez-Linares, M. A. (2007). Vegetación y ecorregiones de Durango. México, D. F; Plaza y Valdez. ISBN: 978-970-95117-0-3
- González Güereca, M. C., Soto Hernández, M., Kite, G. & Martínez Vázquez, M. (2007). Actividad antioxidante de flavonoides del tallo de orégano mexicano (*Lippia graveolens* HBK var. *berlandieri* Schauer). *Revista Fitotecnia Mexicana*. 30, 43–49. Sociedad Mexicana de Fitogenética, A.C. <https://doi.org/10.35196/rfm.2007.1.43>
- Harlan, Harold. (2006). Bed Bugs 101: the Basics of *Cimex lectularius*. *American Entomologist*. 52. 99–101. <https://doi.org/10.1093/ae/52.2.99>
- Harrison, I. S., Stein, A. P., Zeb, L. & Radhakrishnan, N. S. (2022). Bed bug (*Cimex* spp.) colonization of human host. *JAAD Case Reports*. 23, 103–105. <https://doi.org/10.1016/j.jdcr.2022.03.003>

Herrera-Gorocica, A. M. (2023). Evaluación de aceites esenciales para el manejo de mosquita blanca (*Bemisia tabaci* Genn) y araña roja (*Tetranychus urticae* Koch). Tesis de doctorado. Instituto Tecnológico de Conkal, Conkal, Yucatán, México.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2010). Compendio de información geográfica municipal 2010: Nombre de Dios, Durango. Recuperada el 04 de diciembre de 2023, https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/10/10016.pdf

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2016). Conociendo Durango (6.^a ed.). INEGI. Recuperada el 04 de diciembre de 2023, https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/areasgeograficas/resumen/resumen_10.pdf

Isman, M. B. (2020). Botanical insecticides in the twenty-first century—fulfilling their promise?. *Annual Review of Entomology*. 65, 233–249. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-011019-025010>

Kawasima, E. S., Paiva, V. F., Belintani, T., Justino, H. H. G., Nascimento, J. D., Pinotti, H., De Oliveira, J. & Da Rosa, J. A. (2022). Morphological studies of *Cimex lectularius* Linnaeus, 1758 (Hemiptera: Cimicidae). *Revista Chilena de Entomología*. 48, 695–705. <https://doi.org/10.35249/rche.48.4.22.01>

Killgerm Group Ltd. (2009). Manual de las chinches de la cama. Killgerm S.A. Recuperado el 02 de febrero de 2024, https://microservices.es/storage/1201/MANUAL-CHINCHES-DE-LA-CAMA_KILGERM.pdf

Knudsen, J. T. & Ignell, R. (2024). Semiochemicals modulating bed bug behaviour. *Current opinion in insect science*. 64, 101207. <https://doi.org/10.1016/j.cois.2024.101207>

- Leung, A. K. C., Lam, J. M., Barankin, B., Leong, K. F. & Hon, K. L. (2024). Bed bug infestation: an updated review. *Current Pediatric Reviews*. 20, 137–149. <https://doi.org/10.2174/1573396320666230406084801>
- Liu, D., Zhu, X., Greenwell, B. & Lin, Z. (2023). A new goodness-of-fit measure for probit models: Surrogate R². *The British journal of mathematical and statistical psychology*. 76, 192–210. <https://doi.org/10.1111/bmsp.12289>
- López-Urbe, M., Rajotte, E. G., Skvarla, M., Machtinger, E. T., & Lerman, D., Dodson, B. & Niedermeier, M. (2020). IPM for Pennsylvania schools and childcares: A how-to manual. PA IPM Program.
- Machado, C. D., Raman, V., Rehman, J. U., Maia, B. H. L. N. S., Meneghetti, E. K., Almeida, V. P., Silva, R. Z., Farago, P. V., Khan, I. A. & Budel, J. M. (2019). *Schinus molle*: Anatomy of leaves and stems, chemical composition and insecticidal activities of volatile oil against bed bug (*Cimex lectularius*). *Revista Brasileira de Farmacognosia*. 29, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.bjp.2018.10.005>
- Manjarrez-Quintero, J. P., Valdez Baro, O., Garcia-Estrada, R. S., Contreras-Angulo, L. A., Bastidas-Bastidas, P. D. J., Heredia, J. B., Cabanillas-Bojórquez, L. A. & Gutiérrez-Grijalva, E. P. (2024). Optimized ultrasonic extraction of essential oil from the biomass of *Lippia graveolens* Kunth using deep eutetic solvents and their effect on *Colletotrichum asianum*. *Processes*. 12, 1525–1526. <https://doi.org/10.3390/pr12071525>
- Martínez-Natarén, D. A., Castillo-Burguete, M. T., Chávez-Pesqueira, M. & Calvo-Irabién, L. M. del C. (2023). ¿Dónde se producen los aceites esenciales en las plantas aromáticas?. *Desde el Herbario CICY*. 15, 57–62.
- Miller, D. M. & Polanco, A. (2013). Biología y comportamiento de los chinches. Departamento de Entomología, Virginia Tech.

- Mojica, M., Reynoso, M. N., Mengoni, S., Alzogaray, R. A. & Pinto, C. F. (2022). Actividad repelente de los aceites esenciales *Amomyrtus meli*, *Peumus boldus* y *Senecio nutans*, en *Triatoma infestans* (Hemiptera: Reduviidae). *Revista Ciencia, Tecnología e Innovación*. 20, 89–100. <https://doi.org/10.56469/rcti.vol20n26.708>
- Murrieta Dionicio, U., Medrano-Hernández, J. M., Guerra-Ramírez, D. & Valle-Guadarrama, S. (2023). Composition of essential oil of *Schinus molle* L. leaves affected by extraction time and scale-up process. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. 29, 25–40. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2022.04.027>
- Nauen, R. (2007). Insecticide resistance in disease vectors of public health importance. *Pest Management Science*. 63, 628–633. <https://doi.org/10.1002/ps.1406>
- Ortiz-Bode, T. T. (2013). Variabilidad de la composición química del aceite esencial de la especie *Petiveria alliacea* Linn en el período octubre de 2010–enero de 2011. *Revista de ciencias biológicas*. 44, 1–2. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181227534011>
- Politi, F. A., Nascimento, J. D., da Silva, A. A., Moro, I. J., Garcia, M. L., Guido, R. V. C., Rodrigues Pietro, R. C. L., Godinho, A. F. & Furlan, M. (2017). Insecticidal activity of an essential oil of *Tagetes patula* L. (Asteraceae) on common bed bug *Cimex lectularius* L. and molecular docking of major compounds at the catalytic site of CIACHE1. *Parasitology Research*. 116, 415–424. <https://doi.org/10.1007/s00436-016-5305-x>
- Potter, M. F., Haynes, K. F., Gordon, J. R., Hardin, J., Wickemeyer, W. & Washburn, L. (2010). The sensitivity spectrum: human reactions to bed bug bites. *Pest Management Science*. 66, 1360–1365.

- Ramos, R. S., Cooper, R., Dasgupta, T., Pashley, N. E. & Wang, C. (2023). Comparative efficacy of superheated dry steam application and insecticide spray against common bed bugs under simulated field conditions. *Journal of economic entomology*. 116, 12–18. <https://doi.org/10.1093/jee/toac070>
- 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>
- Romero, A., Potter, M. F., Haynes, K. F. & Miller, D. M. (2007). Insecticide resistance in the bed bug: ¿A factor in the pest's sudden resurgence? *Journal of Medical Entomology*. 44, 175–178. <https://doi.org/10.1093/jmedent/41.1.175>
- Ruiz, C., Díaz, C. & Rojas, R. (2015). Composición química de aceites esenciales de 10 plantas aromáticas peruanas. *Revista de la Sociedad Química del Perú*. 81, 81–94.
- Rukke B. A., Salma U., Birkemoe T. & Aak A. (2021). Blood deprivation and heat stress increase mortality in bed bugs (*Cimex lectularius*) exposed to insect pathogenic fungi or desiccant dust. *Med Vet Entomol*. 35, 121–128. <https://doi.org/10.1111/mve.12477>
- Rukke, B. A., Roligheten, E., & Aak, A. (2022). Competencia en materia de adquisiciones y acuerdos marco para el control mejorado de chinches (*Cimex lectularius* [Hemípteros: Cimicidae]). *Journal of Economic*. 115, 240–249. <https://doi.org/10.1093/jee/toab233>
- Santiago-Santiago, M., Sánchez-Viveros, G., Pariona, N., Hernández-Montiel, L. G. y Chiquito-Contreras R.G. (2024). ¿La nueva terapia para las plantas? - Los aceites esenciales para control de enfermedades en agricultura. *ITEA-Información Técnica Económica Agraria*. 120, 116–132. <https://doi.org/10.12706/itea.2024.005>

- Saveer, A. M., DeVries, Z. C., Santangelo, R. G. & Schal, C. (2021). Mating and starvation modulate feeding and host-seeking responses in female bed bugs, *Cimex lectularius*. *Scientific Reports*. 11, 1–11. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-81271-y>
- Scarpino, S. V. & Althouse, B. M. (2019). Uncovering the hidden cost of bed bugs. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 116, 7160–7162. <https://doi.org/10.1073/pnas.1902404116>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (1997). *Norma Oficial Mexicana NOM-007-SEMARNAT-1997, que establece los procedimientos, criterios y especificaciones para realizar el aprovechamiento, transporte y almacenamiento de ramas, hojas o pencas, flores, frutos y semillas*. Diario Oficial de la Federación. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4827943&fecha=05/06/1997
- Sharififard, M., Alizadeh, I., Jahanifard, E., Wang, C. & Azemi, M. E. (2018). Chemical composition and repellency of *Origanum vulgare* essential oil against *Cimex lectularius* under laboratory conditions. *Journal of Arthropod-Borne Diseases*. 12, 387–397.
- Singh, N., Wang, C. & Cooper, R. (2013). Efficacy of a reduced-risk insecticide based bed bug management program in low-income housing. *Insects*. 5, 849–859. <https://doi.org/10.3390/insects4040731>
- Singh, N., Wang, C. & Cooper, R. (2014). Potential of essential oil-based pesticides and detergents for bed bug control. *Journal of Economic Entomology*. 107, 2163–2170. <https://doi.org/10.1603/EC14328>
- Soto-Armenta, L. C., Sacramento-Rivero, J., Acereto-Escoffí, P., Peraza-González, E., Reyes-Sosa, C. F. & Rocha-Uribe, J. (2017). Extraction yield of essential oil from *Lippia graveolens* leaves by steam distillation at

- laboratory and pilot scales. *Journal of essential oil bearing plants*. 20, 610–621. <https://doi.org/10.1080/0972060X.2017.1331756>
- Suchy, J. T., & Lewis, V. R. (2011). Host-seeking behavior in the bed bug, *Cimex lectularius*. *Insects*. 2, 22–35. <https://doi.org/10.3390/insects2010022>
- Talbot, B., Keyghobadi, N., & Fenton, B. (2019). Bed bugs: The move to humans as hosts. *FACETS*. 4, 105–110. <https://doi.org/10.1139/facets-2018-0038>
- Vander-Pan, A., Kuhn, C., Schmolz, E., von Samson-Himmelstjerna, G. & Krücken, J. (2020). Detection of target-site and metabolic resistance to pyrethroids in the bed bug *Cimex lectularius* in Berlin, Germany. *International Journal for Parasitology: Drugs and drug resistance*. 14, 274–283. <https://doi.org/10.1016/j.ijpddr.2020.11.003>
- Vassena, C. V., (2016). Resurgencia de la chinche de cama *Cimex lectularius* (Heteroptera: Cimicidae) en Argentina. *Revista de la Sociedad Entomológica Argentina*. 75, 172–176.
- Vila-Casanova, R. (2019). Aceites esenciales y estado de ánimo. *Revista de fitoterapia*. 18, 101–136.
- Wang, C., Saltzmann, K., Chin, E., Bennett, G. W. & Gibb, T. (2010). Characteristics of *Cimex lectularius* (Hemiptera: Cimicidae): Infestation and dispersal in a high-rise apartment building. *Journal of Economic Entomology*. 103, 172–177. <https://doi.org/10.1603/EC09230>
- Wang, C., Singh, N. & Cooper, R. (2014). Efficacy of an essential oil-based pesticide for controlling bed bug (*Cimex lectularius*) infestations in apartment buildings. *Insects*. 5, 849–859. <https://doi.org/10.3390/insects5040849>

- Wang, C. & Cooper, R. (2023). Environmentally sound bed bug management solutions. *Urban Pest Management, An Enviromental Perspective*.
- Yu, J. J., Ranabhat, S. & Wang, C. (2023). Insecticide resistance of *Cimex lectularius* L. populations and the performance of selected neonicotinoid-pyrethroid mixture sprays and an inorganic dust. *Insects*. 14, 1–12. <https://doi.org/10.3390/insects14020133>
- Zha, C., Wang, C. & Li, M. (2017). Toxicity of selected essential oils, silicone oils, and paraffin oil against the common bed bug (Hemiptera: Cimicidae). *Insects*. 111, 170–177. <https://doi.org/10.1093/jee/tox285>
- Zúñiga-Carrasco, I. R. & Caro-Lozano, J. (2012). Chinchas de la cama: una ectoparasitosis intradomiciliaria subestimada. *Revista de Enfermedades Infecciosas en Pediatría*. 26, 178–184.