

Eficacia de Aceites Esenciales para el Control de *Oryzaephilus surinamensis*

Efficacy of Essential Oils for the Control of *Oryzaephilus surinamensis*

Sebastian Iglesias-Osores^{1,a,*}, Cesar Figueroa-Palomino^{1,b}, Jorge Breña-Ore^{2,c}

¹ Clenvi S.A.C., Lima, Perú.

² Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.

^a Bg., ✉ sebasiglo@gmail.com,  <https://orcid.org/0000-0002-4984-4656>

^b Ing., ✉ cesar.figueroa@clenvi.pe,  <https://orcid.org/0009-0006-9178-3662>

^c Ing., ✉ jbrenaore@uni.edu.pe,  <https://orcid.org/0000-0001-6450-7052>

* Autor de Correspondencia: Tel. +51 991 547 292

<http://doi.org/10.25127/riagrop.20254.1131>

<http://revistas.untrm.edu.pe/index.php/RIAGROP>
revista.riagrop@untrm.edu.pe

Recepción: 02 de julio 2025

Aprobación: 23 de septiembre 2025

Este trabajo tiene licencia de Creative Commons.
Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0
International Public License – CC-BY-NC-SA 4.0



Resumen

El Escarabajo Dentado de los Granos (*Oryzaephilus surinamensis*) es una plaga importante de productos almacenados, causando pérdidas económicas y problemas de salud. Este estudio evaluó seis aceites esenciales (*Eucalyptus globulus*, *Lippia graveolens*, *Schinus molle*, *Bursera graveolens*, *Cedrus deodara* y *Allium sativum*) en concentraciones del 1% al 4% para controlar adultos de esta plaga en condiciones controladas. Los resultados mostraron que el eucalipto y el molle fueron los más efectivos, alcanzando más del 90% de mortalidad a concentraciones entre 3 a 4% después de 5 días. El *Cedrus deodara* y *Allium sativum* presentaron eficacia intermedia (70-85% de mortalidad), mientras que el *Lippia graveolens* fue el menos efectivo (<50% en bajas concentraciones). Los análisis estadísticos confirmaron diferencias significativas entre tratamientos, con una clara relación entre mayor concentración y eficacia, especialmente para *Bursera graveolens* y *Allium sativum*. Este estudio demuestra que ciertos aceites esenciales, particularmente *Eucalyptus globulus* y *Schinus molle* en concentraciones $\geq 3\%$, son alternativas prometedoras para el manejo sostenible de esta plaga en granos almacenados.

Palabras claves: *Oryzaephilus surinamensis*, insecticidas botánicos, control ecológico, manejo integrado de plagas.

Abstract

The saw-toothed grain beetle (*Oryzaephilus surinamensis*) is a significant stored-product pest that causes substantial economic losses and health concerns. This study evaluated six essential oils (*Eucalyptus globulus*, *Lippia graveolens*, *Schinus molle*, *Bursera graveolens*, *Cedrus deodara* y *Allium sativum*) at concentrations of 1% to 4% for controlling adult beetles under controlled conditions. Results demonstrated that eucalyptus and molle were the most effective, achieving over 90% mortality at 3-4% concentrations after 5 days. El *Cedrus deodara* and *Allium sativum* showed intermediate efficacy (70-85% mortality), while *Lippia graveolens* was least effective (<50% at low concentrations). Statistical analyses confirmed significant differences between treatments, revealing a clear concentration-dependent response, particularly for *Bursera graveolens* and *Allium sativum*. This study demonstrates that certain essential oils, especially *Eucalyptus globulus* and *Schinus molle* at $\geq 3\%$ concentrations, represent promising alternatives for sustainable management of this stored-grain pest.

Keywords: *Oryzaephilus surinamensis*, botanical insecticides, eco-friendly control, integrated pest management.

1. INTRODUCCIÓN

Oryzaephilus surinamensis (Coleoptera: Silvanidae), conocido como el Escarabajo Dentado de los Granos, es una plaga cosmopolita de productos almacenados como cereales, alimentos procesados y otros productos agrícolas. Esta especie causa grandes pérdidas económicas debido a la contaminación de los productos almacenados, afectando su calidad y provocando riesgos a la salud pública por la introducción de fragmentos de insectos en los alimentos (Arthur, 2016). Debido a su alta capacidad de adaptación y reproducción, *O. surinamensis* es difícil de erradicar una vez que infesta almacenes (Cao *et al.*, 2018).

Tradicionalmente, el control de esta plaga ha dependido de insecticidas químicos, particularmente organofosforados como el malatión, y fumigantes como la fosfina (Gautam *et al.*, 2020). Sin embargo, el uso prolongado de estos productos ha resultado en la evolución de poblaciones resistentes a varios insecticidas, lo que dificulta su manejo en sistemas de almacenamiento (Lee & Lees, 2001; Opit *et al.*, 2016). La resistencia a la fosfina, uno de los fumigantes más utilizados a nivel global, ha

sido reportada en diversas regiones, subrayando la necesidad de estrategias alternativas para el control de *O. surinamensis* (Gautam *et al.*, 2020; Lee *et al.*, 2001). Las investigaciones han identificado mecanismos bioquímicos como el aumento en la actividad de carboxilesterasas y monooxigenasas del citocromo P450 que degradan insecticidas antes de que ejerzan su efecto letal (Lee & Lees, 2001).

Dada la creciente resistencia a insecticidas químicos, los aceites esenciales han emergido como una alternativa prometedora y ambientalmente amigable para el control de plagas. Estos aceites, derivados de plantas, contienen compuestos bioactivos como terpenos y fenoles, que han demostrado actividad insecticida y repelente. Además, los aceites esenciales son biodegradables, menos tóxicos para humanos y fauna no objetivo, y tienen un bajo impacto ambiental (Isman, 2020; Nerio *et al.*, 2010). En estudios previos, el aceite esencial de eucalipto (*Eucalyptus globulus*) ha mostrado ser eficaz contra diversas plagas de productos almacenados, incluyendo *O. surinamensis* (Kim & Lee, 2014). Asimismo, el aceite de molle (*Schinus molle*) ha demostrado

un efecto insecticida significativo frente a especies como *Tribolium castaneum* (Regnault-Roger *et al.*, 2012).

El presente estudio tiene como objetivo evaluar la eficacia de aceites esenciales de eucalipto, molle, cedro (*Cedrus deodara*), ajo (*Allium sativum*), palo santo (*Bursera graveolens*) y pampa orégano (*Lippia alba*) en el control de *O. surinamensis*. La aplicación de estas alternativas naturales podría ofrecer soluciones más seguras y sostenibles para el manejo de plagas en sistemas de almacenamiento de productos agrícolas.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Tipo de investigación

La investigación fue del tipo experimental aplicada. Este enfoque se basó en la utilización de experimentos controlados para evaluar la eficacia de los aceites esenciales de eucalipto (*Eucalyptus globulus*), pampa orégano (*Lippia graveolens*), molle (*Schinus molle*), palo santo (*Bursera graveolens*), cedro (*Cedrus deodara*) y ajo (*Allium sativum*) en el control de *Oryzaephilus surinamensis*. Los ensayos incluyeron concentraciones del 1 %, 2 %, 3 % y 4 % (v/v) de cada aceite esencial para determinar su dosis letal y eficacia.

2.2. Selección y Preparación de los Insectos

Para la experimentación se utilizaron adultos de *Oryzaephilus surinamensis* criados en laboratorio en estadio adulto, obtenidos de infestaciones naturales en granos almacenados. Los insectos fueron mantenidos en recipientes plásticos con arroz, bajo condiciones controladas de temperatura ($25 \pm 2^\circ\text{C}$) y humedad relativa (65

± 5 %). Para los ensayos, se seleccionaron 2880 individuos adultos.

2.3. Preparación de Tratamientos

Se establecieron cuatro tratamientos con aceites esenciales (T1, T2, T3 y T4) y un testigo con agua destilada (T0). Cada tratamiento incluyó 96 individuos sin discriminación de sexo debido a nuestra capacidad logística, agrupados en lotes de 8 insectos, colocados en placas de Petri estériles (90x15 mm) de plástico. Los tratamientos se aplicaron mediante el rociado directo (5ul) mediante un aspersor comercial plástico de las soluciones a las concentraciones previamente mencionadas.

2.4. Dilución y Aplicación

Los aceites esenciales utilizados en este estudio fueron obtenidos mayoritariamente mediante destilación por arrastre de vapor a presión atmosférica, empleando un equipo de acero inoxidable adaptado para procesos a pequeña escala. Los aceites fueron extraídos a partir de diferentes órganos vegetales según la especie:

- *Bursera graveolens* (Palo santo): se utilizó madera seca como materia prima para la extracción.
- *Schinus molle* (Molle), *Lippia graveolens* (pampa orégano) y *Eucalyptus globulus* (eucalipto): se emplearon hojas secas para la obtención del aceite esencial.
- *Allium sativum* (ajo): se utilizaron bulbos pelados y triturados antes de la destilación.

La única excepción fue el aceite esencial de Cedro del Himalaya (*Cedrus deodara*), el cual fue adquirido comercialmente a la marca GreenHealth® (India). Este producto, según la información del proveedor, fue obtenido mediante destilación por vapor de raíces y ramas.

Para su aplicación, todos los aceites esenciales fueron emulsionados en agua destilada estéril mediante la adición de un tensioactivo no iónico (alcohol etoxilado), lo que permitió una dispersión homogénea.

Cada emulsión fue aplicada mediante una única dosis de 5 μ L por placa, directamente sobre las placas que contenían los insectos objetivos.

Posteriormente, las placas fueron mantenidas en una sala cerrada con aire acondicionado que simuló las condiciones ambientales promedio de la ciudad de Lima, Perú (22 ± 2 °C; humedad relativa moderada). Durante todo el ensayo, las unidades experimentales se conservaron en oscuridad total, a fin de evitar la fotodegradación de los compuestos volátiles y asegurar condiciones controladas de exposición.

2.5. Diseño Experimental

Se empleó un Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA), estructurado para evaluar cinco tratamientos por especie vegetal (cuatro concentraciones del aceite esencial: 1 %, 2 %, 3 % y 4 %, más un testigo sin aplicación). Cada tratamiento contó con 12 repeticiones independientes, distribuidas homogéneamente en cuatro bloques.

El ensayo completo —incluyendo la preparación de materiales, la aplicación de tratamientos y las evaluaciones de mortalidad a 1, 3 y 5 días después de la aplicación (DDA)— tuvo una duración aproximada de 7 días. Las unidades experimentales fueron asignadas aleatoriamente dentro de cada bloque, garantizando una distribución equilibrada y un control estructurado de la variabilidad experimental.

2.6. Procedimientos de análisis de datos

Los datos de mortalidad obtenidos fueron sometidos a un análisis de varianza (ANOVA) unifactorial con el objetivo de evaluar el efecto de las diferentes concentraciones de aceites esenciales sobre la mortalidad de *Oryzaephilus surinamensis*. En los casos en que se detectaron diferencias significativas ($p < 0.05$), se aplicó la prueba de comparación de medias de Duncan para identificar contrastes estadísticamente significativos entre tratamientos.

Adicionalmente, se calcularon coeficientes de correlación de Pearson para explorar la relación entre el porcentaje de mortalidad y dos variables continuas: el tiempo de exposición (1, 3 y 5 días después de la aplicación) y la concentración del aceite esencial.

Como parte del análisis descriptivo, se estimaron la media, la desviación estándar (D.E.), el coeficiente de variación (CV) y los valores extremos (mínimo y máximo) para cada combinación tratamiento-tiempo, a fin de evaluar la consistencia y dispersión de los datos experimentales.

Todos los análisis estadísticos fueron realizados utilizando el entorno de programación R (versión 4.3.1), mediante el software RStudio, empleando funciones base y paquetes especializados para análisis de varianza y correlación.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados muestran que los aceites esenciales del eucalipto y molle fueron los más efectivos en el control de *Oryzaephilus surinamensis*, especialmente en concentraciones entre 3 % y 4 %, donde se lograron tasas de mortalidad superiores al 90 % a los 5 días

después de la aplicación (DDA). En contraste, el pampa orégano presentó la menor eficacia, con mortalidades inferiores al 50 % en las concentraciones más bajas. Los aceites de ajo y cedro mostraron una eficacia intermedia, con tendencias de aumento de mortalidad a mayor concentración y tiempo de exposición. El coeficiente de variación (CV) fue menor en los tratamientos más efectivos, lo que indica una mayor consistencia en los resultados (tabla 1).

El presente estudio demostró que los aceites esenciales de *Eucalyptus globulus* (eucalipto) y *Schinus molle* (molle) fueron altamente efectivos en el control de *Oryzaephilus surinamensis*, alcanzando tasas de mortalidad superiores al 90 % en concentraciones del 3 % y 4 % después de

5 días de aplicación (DDA). Estos resultados coinciden con investigaciones previas que destacan el alto poder insecticida de estos aceites esenciales, debido principalmente a su contenido en monoterpenos y sesquiterpenos, compuestos bioactivos responsables de la toxicidad contra insectos (Isman, 2020; Nerio *et al.*, 2010). En particular, el *Eucalyptus globulus* es bien conocido por su elevado contenido de 1,8-cineol (eucaliptol), que afecta negativamente el sistema respiratorio y nervioso de los insectos, provocando alta mortalidad en poco tiempo (Kim & Lee, 2014). De manera similar, el *Schinus molle* contiene β -pineno y α -pineno, que han mostrado efectos tóxicos significativos en estudios anteriores, contribuyendo a su eficacia insecticida (Regnault-Roger *et al.*, 2012).

Tabla 1. Eficacia de aceites esenciales a diferentes concentraciones en el control de *Oryzaephilus surinamensis*

Aceite- Concentración (%)	1DDA			3DDA			5DDA		
	Media (D.E.)	CV	Mín- Máx	Media (D.E.)	CV	Mín- Máx	Media (D.E.)	CV	Mín- Máx
Eucalipto - 1%	61.45 (± 17.80)	28.96	50-87.50	64.72 (± 17.67)	27.30	52.38-90.91	66.51 (± 19.37)	29.12	52.94-95.24
Eucalipto - 2%	76.04 (± 3.99)	5.25	70.83-79.17	79.42 (± 5.33)	6.72	71.43-82.61	84.35 (± 7.46)	8.84	73.68-90.48
Eucalipto - 3%	77.08 (± 5.37)	6.97	70.83-83.33	81.79 (± 6.50)	7.95	76.19-90.91	86.92 (± 6.48)	7.46	80 -95.24
Eucalipto - 4%	86.45 (± 2.08)	2.41	83.33-87.50	92.02 (± 2.10)	2.28	90.91-95.24	92.26 (± 2.70)	2.92	89.47-95
Molle - 1%	58.33 (± 5.89)	10.10	54.17-66.67	62.24 (± 6.05)	9.72	57.14-70.83	73.65 (± 5.39)	7.33	68.42-81
Molle - 2%	71.87 (± 3.98)	5.54	66.67-75	75.17 (± 4.44)	5.91	70.83-80.95	85.04 (± 6.96)	8.18	75-90
Molle - 3%	76.04 (± 6.25)	8.21	66.67-79.17	80.53 (± 6.04)	7.51	72.73-87.50	86.10 (± 5.37)	6.24	78.95-90.48
Molle - 4%	86.95 (± 2.08)	2.41	83.33-87.50	90.88 (± 0.56)	0.61	90.48-91.67	95.06 (± 4.08)	4.29	90-100
Ajo - 1%	50 (± 6.44)	12.88	42.11-57.89	59.81 (± 14.48)	24.22	38.89-72.22	63.18 (± 10.86)	17.20	47.06-70.59
Ajo - 2%	61.44 (± 10.36)	16.86	47.37-70	71.82 (± 14.93)	20.80	50-83.33	74.47 (± 19.73)	26.49	46.06-94.12
Ajo - 3%	69.21 (± 0.91)	1.31	68.42-70	74.74 (± 4.41)	5.90	68.42-77.78	76.18 (± 4.47)	5.87	72.22-82.35
Ajo - 4%	70.72 (± 11.30)	15.97	55-78.95	75.99 (± 6.86)	9.03	68.42-83.33	83.15 (± 12)	14.43	66.67-94.12
Cedro - 1%	69.08 (± 10.64)	15.41	63.16-85	83.69 (± 8.12)	9.7	77.78-95	82.83 (± 8.32)	10.05	76.47-94.74
Cedro - 2%	70.52 (± 8.46)	12	60-80	84.17 (± 6.71)	7.97	75-89.47	88.85 (± 9.87)	11.10	78.95-100
Cedro - 3%	71.77 (± 6.54)	9.11	65-80	85.49 (± 4.27)	5	80-88.89	91.49 (± 3.4)	3.72	88.24-94.74
Cedro - 4%	74.27 (± 4.75)	6.40	68.42-80	87.92 (± 7.11)	8.09	77.78-94.44	92.85 (± 3.10)	3.34	88.24-94.80
Palo Santo - 1%	51 (± 13.6)	26.7	36.8-65	58.4 (± 10.8)	18.4	44.4-68.4	64.5 (± 7.15)	11.1	58.8-73.7
Palo Santo - 2%	52.5 (± 7.06)	13.4	42.1-57.9	62.5 (± 14.4)	23	44.4-79	69.9 (± 13.9)	19.9	52.9-84.2
Palo Santo - 3%	55.1 (± 6.45)	11.7	47.4-63.2	65.4 (± 5.86)	8.96	60-72.2	75 (± 9.83)	13.1	66.7-88.2
Palo Santo - 4%	59.1 (± 6.23)	10.6	30-55	81.3 (± 7.29)	8.97	52.63-61.11	84.5 (± 10.1)	11.9	66.67-78.95
Pampa Orégano - 1%	25 (± 11.28)	45.14	16.67-41.67	41.66 (± 5.89)	14.14	37.5-50	44.79 (± 3.98)	8.9	41.67-50
Pampa Orégano - 2%	34.37 (± 9.23)	26.87	25-45.83	44.79 (± 12.43)	27.77	29.17-58.33	48.95 (± 12.44)	25.41	33.33-62.50
Pampa Orégano - 3%	40.62 (± 3.98)	9.81	37.5-45.83	55.21 (± 10.41)	18.86	41.67-66.67	58.33 (± 10.20)	17.49	45.83-70.83
Pampa Orégano - 4%	56.25 (± 7.11)	15.88	37.5-54.17	56.25 (± 7.21)	12.83	50-66.67	63.54 (± 7.11)	11.19	54.17-70.83

El análisis de varianza (ANOVA) mostró diferencias significativas entre los tratamientos con aceite de palo santo. con un valor de $p =$

0.0231, lo que indica que al menos uno de los tratamientos presenta una eficacia distinta a los demás. Según la prueba de Duncan, el

tratamiento con 4 % de palo santo fue significativamente más efectivo, con una media de mortalidad de 84.5 % (± 10.1) al quinto día después de la aplicación (5 DDA), mientras que el tratamiento con 1 % fue el menos efectivo, con una media de 64.5 % (± 7.15). Las concentraciones intermedias de 2 % y 3 % no mostraron diferencias significativas entre sí, pero sí con respecto al tratamiento de 1 % (figura 1).

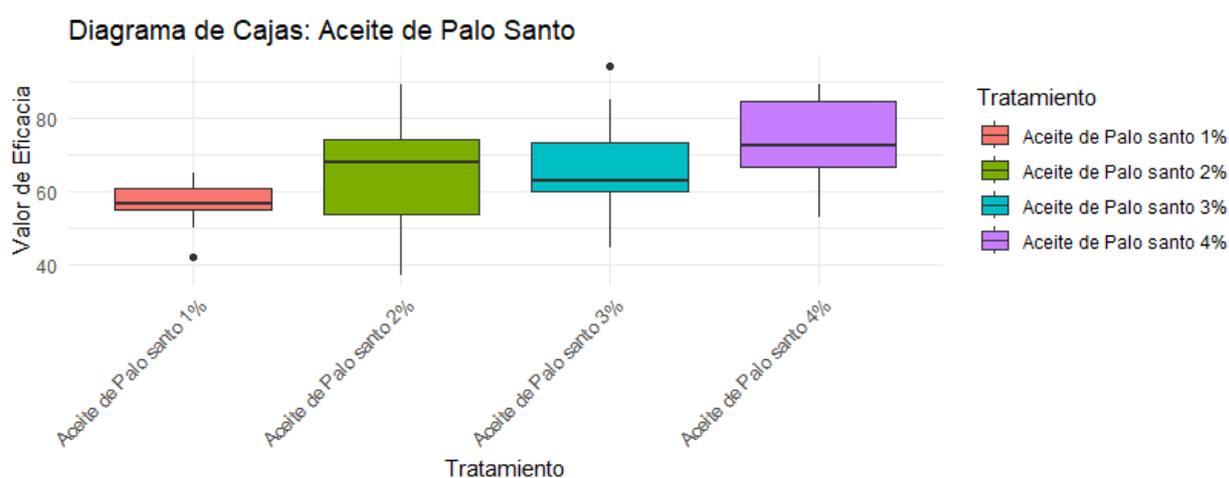


Figura 1. Distribución de la eficacia del aceite esencial de *Bursera graveolens* (palo santo) a diferentes concentraciones sobre *Oryzaephilus surinamensis*, a los 5 días después de la aplicación (5 DDA).

El análisis de varianza (ANOVA) para el aceite de pampa orégano reveló diferencias altamente significativas entre los tratamientos, con un valor de $p = 0.00147$, lo que indica que las concentraciones de este aceite afectan significativamente la eficacia en el control de *Oryzaephilus surinamensis*. La prueba de Duncan mostró que el tratamiento con 4 % de pampa orégano fue el más efectivo, con una media de mortalidad de 63.54 % (± 7.11) al quinto día después de la aplicación (5 DDA), mientras que el tratamiento con 1 % fue el menos efectivo, con una media de 44.79 % (± 3.98). Las concentraciones intermedias (2 % y 3 %) presentaron diferencias significativas entre sí y respecto a los extremos.

Además, se observó una correlación positiva entre la concentración del aceite y la eficacia, siendo más alta en los tratamientos de 3 % y 4 %, con valores de correlación de 0.776 y 0.781, respectivamente. Esto sugiere que, a mayor concentración de aceite de palo santo, mayor es la eficacia en el control de *Oryzaephilus surinamensis*.

Además, se observó una correlación positiva entre el tiempo y la eficacia en todas las concentraciones, siendo más fuerte en el tratamiento con 4 % ($r = 0.7736$), lo que sugiere que a mayor concentración y tiempo de exposición, mayor es la eficacia del aceite de pampa orégano (figura 2).

Por otro lado, el aceite de *Lippia alba* (pampa orégano) fue considerablemente menos efectivo, especialmente en concentraciones del 1 % y 2 %, con tasas de mortalidad inferiores al 50 %. Aunque en concentraciones más altas (3 % y

4 %) la eficacia aumentó, no alcanzó el mismo nivel que el eucalipto o el molle. Esto podría deberse a la menor concentración de compuestos insecticidas potentes en *Lippia alba*, como el carvacrol y el timol, que si bien poseen propiedades insecticidas, son menos efectivos en comparación con los monoterpenos del

eucalipto o el molle (Cao *et al.*, 2018; Nerio *et al.*, 2010). Estos hallazgos sugieren que el aceite de *Lippia alba* podría ser más útil como complemento en estrategias de control integrado de plagas, en lugar de como agente insecticida principal.

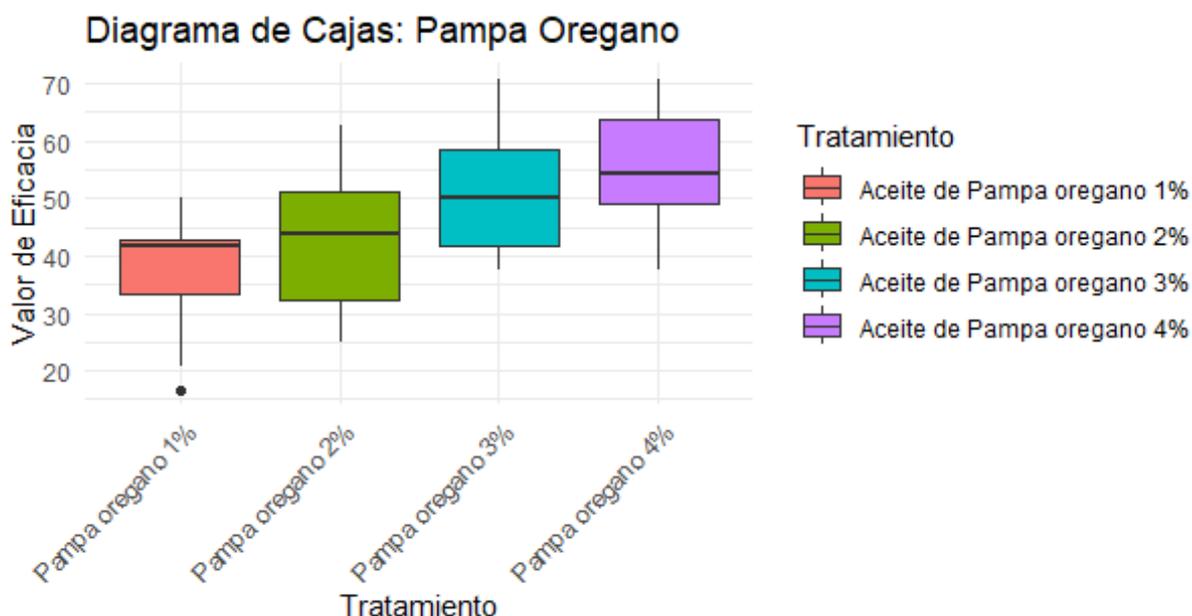


Figura 2. Distribución de la eficacia del aceite esencial de *Lippia graveolens* (pampa orégano) a diferentes concentraciones sobre *Oryzaephilus surinamensis*, a los 5 días después de la aplicación (5 DDA).

El análisis de varianza (ANOVA) para el aceite de cedro no mostró diferencias significativas entre los tratamientos, con un valor de $p = 0.473$, lo que indica que las concentraciones utilizadas no provocaron una variación considerable en la eficacia del control de *Oryzaephilus surinamensis*. Los resultados de la prueba de medias confirman esta observación, ya que no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos (T1, T2, T3, y T4), manteniendo medias de mortalidad cercanas entre sí, alrededor del 78 % al 85 %.

Por otro lado, las correlaciones entre el tiempo y la eficacia mostraron una relación positiva en todos los tratamientos, destacándose T3 y T4 con correlaciones más fuertes (0.8666 y 0.8357, respectivamente). Esto sugiere que, aunque las concentraciones no mostraron diferencias significativas, el tiempo de exposición influye en la eficacia del aceite de cedro para controlar la plaga (figura 3).

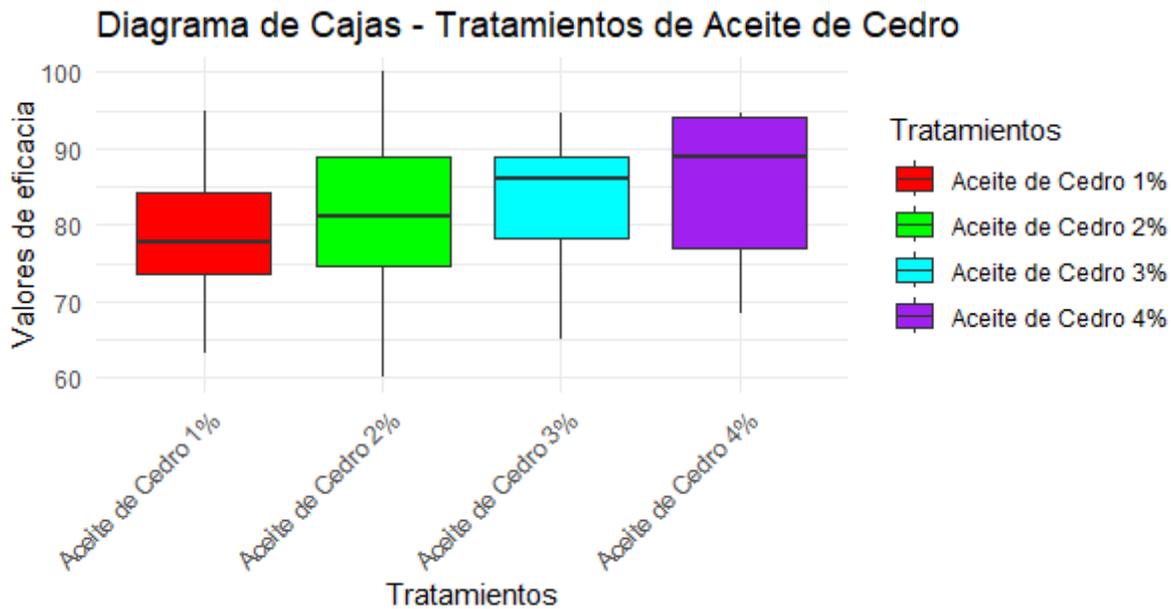


Figura 3. Distribución de la eficacia del aceite esencial de *Cedrus deodara* (cedro) a diferentes concentraciones sobre *Oryzaephilus surinamensis*, a los 5 días después de la aplicación (5 DDA).

El análisis de varianza (ANOVA) para los tratamientos con aceite de ajo mostró diferencias altamente significativas entre las concentraciones, con un valor de $p = 0.000926$, lo que indica que las diferentes concentraciones del aceite afectan significativamente la mortalidad de *Oryzaephilus surinamensis*. Según la prueba de comparación de medias, los tratamientos con 4 %, 3 % y 2 % de aceite de ajo no mostraron diferencias significativas entre sí, pero fueron más efectivos que el tratamiento con 1 %, el cual tuvo una eficacia significativamente menor (57.67 %). Esto sugiere que las concentraciones más altas de aceite de ajo son más efectivas en el control de la plaga.

Además, las correlaciones entre tiempo y eficacia fueron moderadamente positivas para todas las concentraciones, destacando el tratamiento con 3 % que mostró una correlación más alta (0.6507), lo que sugiere que el tiempo

de exposición incrementa la eficacia del tratamiento a esta concentración (figura 4).

El aceite de *Allium sativum* (ajo) mostró una eficacia intermedia, con una clara tendencia al incremento de la mortalidad a medida que se aumentaba la concentración. Estudios previos han atribuido la actividad insecticida del ajo a sus compuestos sulfurados, como la alicina, que actúan inhibiendo enzimas clave en los insectos y causando su muerte (Singh *et al.*, 2009). Sin embargo, la variabilidad observada en los resultados de este aceite, especialmente en concentraciones más bajas, puede estar relacionada con la volatilidad de estos compuestos y la rápida degradación que pueden sufrir en condiciones ambientales (Regnault-Roger *et al.*, 2012).

En cuanto al aceite de *Cedrus deodara* (cedro), los resultados fueron también intermedios, con tasas de mortalidad alrededor del 85 % en concentraciones del 4 %, pero sin diferencias significativas entre tratamientos. Este

comportamiento refleja la moderada eficacia del cedro, que ha mostrado actividad insecticida en estudios previos, aunque dependiente de factores como la especie de insecto tratada y las condiciones de aplicación (Park *et al.*, 2019). Los compuestos terpenoides presentes en el cedro, como el cedrol y el α -cedreno, son conocidos por su acción fumigante. aunque generalmente su acción es más lenta que en otros aceites esenciales (Cao *et al.*, 2018).

El análisis de varianza (ANOVA) para los tratamientos con aceite de molle mostró diferencias altamente significativas entre las concentraciones, con un valor de $p = 2.43e-10$, lo

que indica que las distintas concentraciones del aceite tienen un impacto significativo en la mortalidad de *Oryzaephilus surinamensis*. Según la prueba de Duncan, el tratamiento con 4 % de molle fue el más efectivo, con una media de mortalidad de 90.80 %, seguido por el tratamiento con 3 % y 2 %, los cuales no presentaron diferencias significativas entre sí, pero sí respecto al 1 %, que fue el menos efectivo con una media de 64.74 %. Las correlaciones entre tiempo y eficacia mostraron valores positivos, destacando una mayor correlación en el tratamiento de 4 % (0.8354), lo que sugiere que a mayor concentración y tiempo de exposición. mayor es la eficacia del aceite de molle (figura 5).

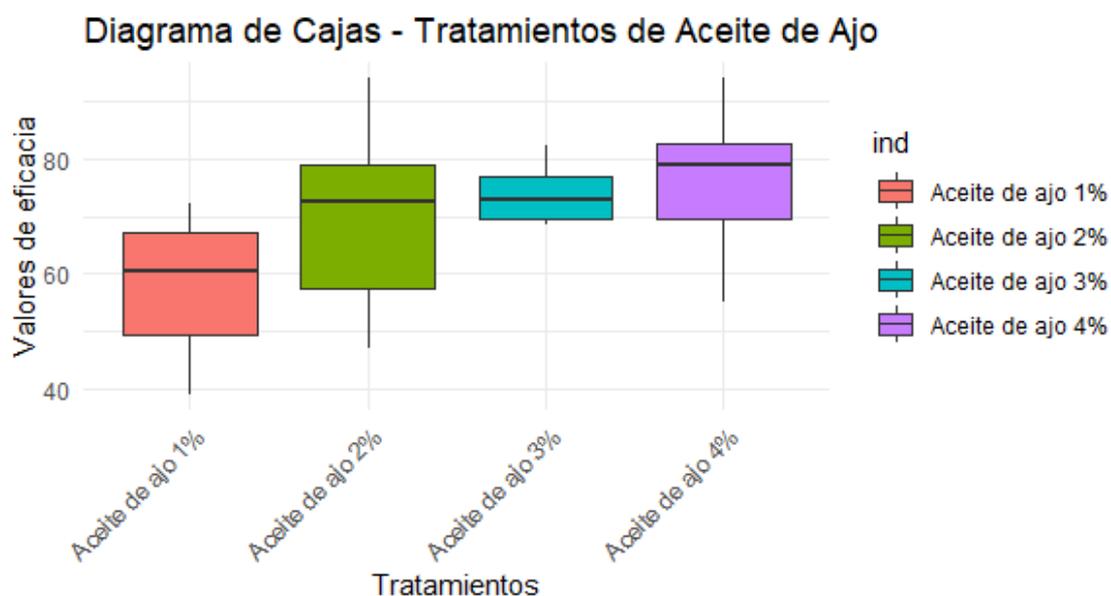


Figura 4. Distribución de la eficacia del aceite esencial de *Allium sativum* (ajo) a diferentes concentraciones sobre *Oryzaephilus surinamensis*, a los 5 días después de la aplicación (5 DDA).

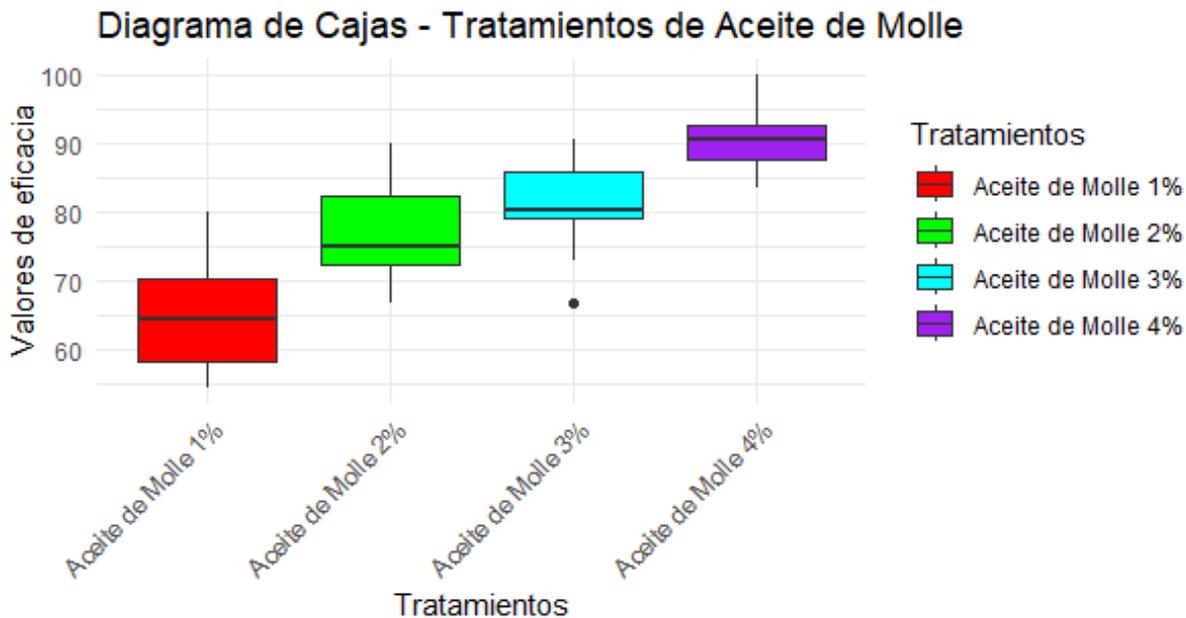


Figura 5. Distribución de la eficacia del aceite esencial de *Schinus molle* (molle) a diferentes concentraciones sobre *Oryzaephilus surinamensis*, a los 5 días después de la aplicación (5 DDA).

El análisis de varianza (ANOVA) para el aceite esencial de *Eucalyptus globulus* (eucalipto) mostró diferencias altamente significativas entre las concentraciones probadas ($p < 0.001$), con un valor de $p = 7.57e-07$. Esto indica que la concentración de aceite de eucalipto afecta de manera significativa la mortalidad de *Oryzaephilus surinamensis*. Los resultados de la prueba de medias sugieren que el tratamiento con 4 % de eucalipto (T4) fue el más efectivo, con una mortalidad promedio de 90.27 %, significativamente mayor que los tratamientos con 3 % (81.93 %) y 2 % (79.94 %). El tratamiento con 1 % de eucalipto (T1) fue el menos efectivo, con una media de 64.23 %, lo que sugiere que a

concentraciones más bajas la efectividad del eucalipto disminuye considerablemente.

Las correlaciones entre el tiempo de exposición y la mortalidad fueron positivas, aunque más fuertes en concentraciones más altas. La correlación fue mayor en el tratamiento con 4 % (0.7055), lo que indica que el tiempo de exposición aumenta la eficacia del aceite de eucalipto en concentraciones más altas. Sin embargo, la correlación en el tratamiento de 1 % fue baja (0.1292), lo que refuerza la menor eficacia de las concentraciones más bajas, incluso con tiempos de exposición prolongados (figura 6).

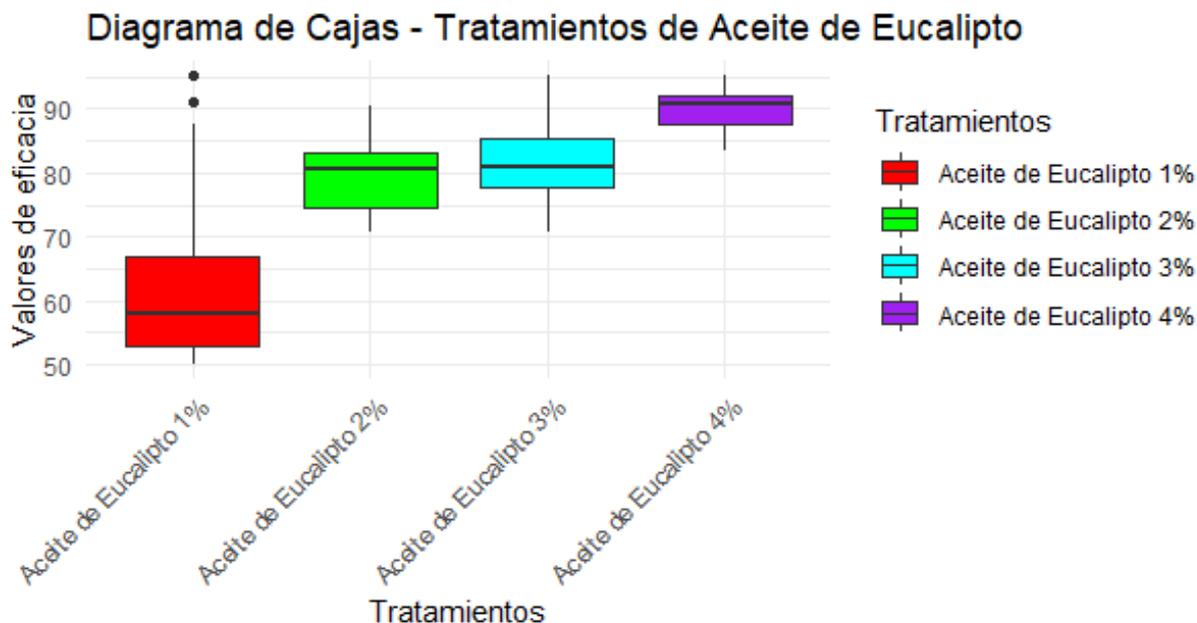


Figura 6. Distribución de la eficacia del aceite esencial de *Eucalyptus globulus* (eucalipto) a diferentes concentraciones sobre *Oryzaephilus surinamensis*, a los 5 días después de la aplicación (5 DDA).

Aunque este estudio se ejecutó bajo condiciones controladas de laboratorio, ello responde al itinerario estándar de desarrollo y no constituye una limitación per se. En investigación aplicada, los ensayos básicos se realizan primero en ambiente controlado para aislar el efecto del principio activo; la siguiente fase corresponde a condiciones semi-controladas (invernadero) y, finalmente, a condiciones operativas reales de almacén. Los resultados obtenidos aquí permiten definir concentraciones óptimas y el esquema de aplicación, insumos que habilitan de manera fundamentada las etapas posteriores de validación en invernadero y en almacén (Nerio *et al.*, 2010). Además, no se evaluaron efectos subletales o la posible recuperación de la población de insectos a lo largo del tiempo, lo cual sería crucial para entender el impacto a largo plazo de estos tratamientos (Isman. 2020). También, la variabilidad en la composición de los aceites esenciales, dependiendo de la fuente de las plantas y el método de extracción, podría

afectar la reproducibilidad de estos resultados en diferentes condiciones (Regnault-Roger *et al.*, 2012).

4. CONCLUSIONES

Los aceites esenciales de *Eucalyptus globulus* y *Schinus molle* demostraron ser alternativas altamente efectivas para el control de *Oryzaephilus surinamensis*, particularmente en concentraciones del 3 % y 4 %. Aunque otros aceites como el de *Lippia alba*, *Allium sativum* y *Cedrus deodara* mostraron potencial insecticida, su eficacia fue menor y dependió más del tiempo de exposición y la concentración. Con estos resultados se recomienda evaluar que los aceites esenciales pueden jugar un papel importante en el manejo integrado de plagas de productos almacenados, aunque se necesitan más estudios para evaluar su eficacia en condiciones reales y a largo plazo.

Declaración de intereses

Ninguna.

Referencias

- Arthur. F.H. (2016). Recent advances in stored product protection. *Stewart Postharvest Review*, 5(1), 1-9.
- Cao. Y., Guo. S. & Li. Z. (2018). Insecticide resistance in stored-product pests: Problems and solutions. *Journal of Stored Products Research*, 80, 62-70.
- Gautam. S.G., Opit. G.P., Konemann. C. & Shakya. K. (2020). Phosphine resistance in *Oryzaephilus surinamensis* in stored product pests. *Journal of Stored Products Research*, 89, 101690.
- Isman. M.B. (2020). Botanical insecticides in the twenty-first century—Fulfilling their promise? *Annual Review of Entomology*, 65, 233-249.
- Kim. S.I. & Lee. D.W. (2014). Toxicity and repellency of constituents of essential oils against *Sitophilus oryzae* and *Oryzaephilus surinamensis* (Coleoptera). *Journal of Stored Products Research*, 59, 146-151.
- Lee. S.E. & Lees. E.M. (2001). Biochemical mechanisms of resistance in strains of *Oryzaephilus surinamensis* resistant to malathion and chlorpyrifos-methyl. *Journal of Economic Entomology*, 94(3), 706-713.
- Nerio. L.S., Olivero-Verbel. J. & Stashenko. E. (2010). Repellent activity of essential oils: A review. *Bioresource Technology*, 101(1), 372-378.
- Park. I.K. & Shin. S.C. (2005). Fumigant activity of asarones identified in *Acorus gramineus* rhizome against *Sitophilus oryzae* and *Oryzaephilus surinamensis*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(11), 4388-4392.
- 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.
- Singh. G., Maurya. S., Catalan. C. & De Lampasona. M.P. (2009). Chemical constituents, antifungal and antioxidative potential of *Cedrus deodara* wood essential oil. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(12), 5533-5538.