

Actividad de tres aceites esenciales sobre la mortalidad de *Rhyzopertha dominica* (F.) en trigo almacenado

Activity of three essential oils on the mortality of *Rhyzopertha dominica* (F.) in stored wheat

Iturralde-García RD¹, Borboa-Flores J¹, Sánchez-Maríñez RI², Cortez-Rocha MO¹, Cinco-Moroyoqui FJ¹ and Wong-Corral FJ^{1*}

¹ Departamento de Investigación y Posgrado en Alimentos, Universidad de Sonora. Blvd. Luis Encinas y Rosales S/N, Col. Centro. CP 83000. Hermosillo, Sonora, México.

² Departamento de Ciencias Químico Biológicas, Universidad de Sonora. Blvd. Luis Encinas y Rosales S/N, Col. Centro. CP 83000. Hermosillo, Sonora, México.

RESUMEN

Rhyzopertha dominica (F.) es una plaga del trigo almacenado y para su control se usa indiscriminadamente sustancias químicas provocando resistencia a insectos, además de problemas ambientales y de salud. Por consiguiente, el objetivo fue evaluar el efecto de los aceites esenciales de *Melaleuca viridiflora* Gaertn, *Lippia palmeri* Watson y *Eucalyptus camaldulensis* Dehnhardt sobre la mortalidad, repelencia, emergencia de *R. dominica*, y la pérdida de peso en trigo, saturando la atmósfera con diferentes concentraciones de aceites (0, 5, 10, y 15 µL/kg) y tiempos de exposición (24, 48 y 72 h) sobre *R. dominica*. Los resultados mostraron actividad insecticida de los aceites quedando en el siguiente orden de importancia *M. viridiflora*, *E. camaldulensis* y *L. palmeri*. Existe una relación directamente proporcional en el parámetro de mortalidad con respecto al tiempo de exposición y la concentración de los aceites. De estos, el que mejor efecto exhibió fue *M. viridiflora* sobre la mortalidad de *R. dominica*, la emergencia de insectos adultos y la reducción en la pérdida de peso. Mientras, *L. palmeri* fue el que mejor repelencia presentó. Se concluye que los tres aceites esenciales presentan potencial actividad para el control de *R. dominica* disminuyendo la pérdida de peso en el grano.

Palabras clave: Plaga, Aceites esenciales, almacenamiento, trigo.

ABSTRACT

Rhyzopertha dominica (F.) is a stored wheat pest and its control uses indiscriminately chemical substances that causes resistance to insects, as well as environmental and health problems. Therefore, the objective was to evaluate the effect of the essential oils of *Melaleuca viridiflora* Gaertn, *Lippia palmeri* Watson, and *Eucalyptus camaldulensis* Dehnhardt on mortality, repellency, *R. dominica* emergence, and weight loss in wheat, saturating the atmosphere with different oil concentrations (0, 5, 10, and 15 µL/kg) and exposure times (24, 48 and 72 h) on *R. dominica*. The results showed insecticidal activity of the oils and were arranged in the order of importance: *M. viridiflora*, *E. camaldulensis* and *L. palmeri*. There is a directly proportional relationship in the mortality parameter with respect to the oils exposure time and concen-

tration. Of these, the one that exhibited the best effect was *M. viridiflora* on the mortality of *R. dominica*, the emergence of adult insects and the reduction in weight loss. Whereas, *L. palmeri* showed the best repellency. It is concluded that the three essential oils have potential activity for the control of *R. dominica*, reducing the wight loss in the grain.

Keywords: Pest, essential oils, storage, wheat.

INTRODUCCIÓN

Uno de los problemas importantes durante el almacenamiento de los granos de trigo son las pérdidas causadas por los insectos estimándose del 5 a 15% a nivel mundial (Nayak y Daglish, 2018). Entre las especies más comunes en cereales se encuentra *Rhyzopertha dominica* Fabricius (Coleoptera: Bostrichidae), que es una plaga cosmopolita primaria de desarrollo interno, es decir los adultos ponen los huevos en el exterior del grano y las larvas de primer estadio penetran y se desarrollan en el interior del grano hasta alcanzar el estado adulto que emerge del grano y se dispersa (Rees, 1995; Iturralde-García *et al.*, 2020). Los métodos de control de insectos durante el almacenamiento son de diferentes tipos, siendo el químico el más utilizado, donde su uso continuo y discriminado ha tenido un impacto ambiental negativo, incluyendo pérdidas de calidad de agua, contaminación del hábitat natural (como en el caso del uso de bromuro de metilo), resistencia de las especies que eran objeto de control (con el uso de fosfina), junto con problemas de seguridad y exposición del consumidor a los residuos de plaguicidas en el alimento, en el aire y en el suelo (Bouvier *et al.*, 2001). En la actualidad ha incrementado la demanda del consumidor por alimentos seguros, en el cual se han estado desarrollando métodos alternativos al control químico que son libres de residuos y que no produzcan daños en el medio ambiente para el control de insectos plagas de almacén. Uno de los métodos alternativos que han tomado relevancia es el uso de aceites esenciales debido a sus componentes que le confieren la función de tipo de insecticida natural (Batish *et al.*, 2008; Martínez-Evaristo *et al.*, 2015). En este contexto, los extractos y aceites esenciales se presentan hoy en todo el mundo, como una excelente alternativa ofreciendo, bi-disponibilidad, biodegradabilidad y selectividad. Diversos

trabajos documentan la bioactividad de estos compuestos frente a diferentes insectos plaga de almacén (Reyes-Guzmán *et al.*, 2012; Martínez-Evaristo *et al.*, 2015; Yang *et al.*, 2017; Ghabbari *et al.*, 2018). Por lo anterior, el presente estudio es con el propósito de tener información y contribuir en la búsqueda de productos naturales que puedan controlar a *R. dominica* sin afectar la calidad del grano y evitar la pérdida de peso durante su almacenamiento. Por lo tanto, el objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de los aceites esenciales de *Melaleuca viridiflora* Gaertn, *Lippia palmeri* Watson y *Eucalyptus camaldulensis* Dehnhardt sobre la mortalidad, repelencia, emergencia de *R. dominica*, así como la pérdida de peso en trigo. *R. dominica*, y determinamos la pérdida de peso del trigo producido por el insecto con tres tipos de aceite esencial a diferentes dosis y periodos de exposición.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron grano de trigo (*Triticum aestivum* L.) variedad tarachi. Los ejemplares de *Rhyzopertha dominica* provinieron de una colonia desarrollada en el laboratorio de Entomología del Departamento de Investigación y Posgrado en Alimentos de la Universidad de Sonora. La colonia se desarrolló bajo condiciones controladas de temperatura (27 ± 2 °C), humedad relativa (70 ± 5 %) y fotoperiodo (12L:12O). Después de siete días durante los cuales se llevó a cabo la oviposición, los insectos progenitores fueron removidos y los granos infestados se mantuvieron en incubación por 45 días adicionales para la emergencia de nuevos insectos. La progenie resultante fue empleada para infestar las muestras de grano de trigo que se expusieron a los aceites esenciales.

Aceites esenciales

Los aceites esenciales utilizados fueron *Melaleuca viridiflora* Gaertn (Myrtales: Myrtaceae) obtenido del comercio local de la marca Soria natural distribuidos por la casa Herbofarm Madrid, España; *Eucalyptus camaldulensis* Dehnhardt (Myrtales: Myrtaceae) obtenido de hoja recolectada de árboles ubicados a 29° 00' 44" N y 111° 08' 02" O; y orégano *Lippia palmeri* Watson (Verbenaceae) en 29° 02' 52" N y 110° 50' 16" O.

Extracción de los aceites esenciales en hoja

El aceite esencial fue extraído mediante el proceso de destilación por arrastre de vapor de agua siguiendo el Método Oficial de la A.O.A.C. 6.006 (Association of Official Analytical Chemists 1975), para lo cual se utilizó un destilador tipo Clevenger de capacidad de 2 L donde se colocaron 100 gramos de hojas de las plantas que fueron recolectadas de *E. camaldulensis* y *L. palmeri*, cortadas a mano en partículas pequeñas de 2 cm. Una vez obtenidos los aceites se almacenaron en viales color ámbar a 4 °C para su conservación.

Mortalidad de *R. dominica*

Se realizaron pruebas *in vitro* por saturación atmosférica para lo cual se añadieron 10 adultos de *R. dominica* de edades estandarizadas (10 días) con 5 g de trigo y se impreg-

naron discos de papel filtro de 2 cm de circunferencia con concentraciones de 5, 10 y 15 $\mu\text{L}/\text{kg}$ para cada aceite esencial y a tres tiempos de exposición (24, 48 y 72 h), en cajas Petri selladas con parafilm para prevenir la fuga de gases, así como un tratamiento sin añadir aceites esenciales como testigo. Se consideró como insecto muerto a todos los que no mostraron movimientos ante la punción con aguja de disección entomológica. Los resultados de mortalidad se calcularon mediante la fórmula de Abbott (1925).

Índice de repelencia (IR) de *R. dominica*

Para evaluar la efectividad de los aleloquímicos vegetales volátiles (toxicidad, repelencia, concentraciones efectivas, tiempo de exposición u otros tipos de estímulos), se realizaron bioensayos con los tres tipos de aceites esenciales sobre *R. dominica*, utilizando un olfatómetro, adaptados a una técnica en común. Dos recipientes de plástico de 250 mL cada uno, se conectaron mediante un tubo de plástico de 15 x 1 cm de diámetro en los que se abrió una pequeña ventana de 1 x 1 cm equidistante a los dos recipientes. En uno de los recipientes se colocó 10 g de grano entero tratado con la fracción de aceite esencial y en el otro recipiente se colocó 10 g de grano entero sin tratar como control. Sobre esa dieta fueron aplicados los aceites con una concentración de 5, 10 y 15 $\mu\text{L}/\text{kg}$ con los respectivos testigos en blanco. Los envases se cerraron herméticamente quedando apoyados por una de sus caras para evitar movimientos y asegurar la estabilidad de la estructura. Luego de aplicado el aceite, se incorporaron 20 adultos de *R. dominica* edades estandarizadas (10 días) en el centro del tubo a través del hueco central, que posteriormente fue sellado con parafilm.

Se registró el número de insectos en cada recipiente luego de 24, 48 y 72 horas para determinar repelencia y mortalidad respectivamente. Mediante esta evaluación olfatómetrica se pueden discriminar dos conductas: individuos que eligen la fuente aromática (atracción) y los que se alejan de ella (repelencia) dirigiéndose hacia los granos sin tratar. Para cada tratamiento se registró el número de insectos presentes en los envases, transformándolo en porcentaje de repelencia y/o mortalidad. Permitiendo calcular el índice de repelencia (IR) según lo descrito por Mazzonetto (2002), donde el tratamiento se clasifica como neutro si el índice es igual a 1, atrayente si es mayor a 1 y repelente si es menor a 1. El cálculo será por la siguiente fórmula:

$$\text{IR} = \frac{2G}{(G+P)}$$

Dónde: IR: Índice de repelencia

G: Porcentaje de insectos en el tratamiento

P: Porcentaje de insectos en el testigo

Emergencia de progenies (F1) de *R. dominica*

Para la estimar la emergencia se tomó una muestra representativa de 50 gramos con 20 ejemplares insectos de edades estandarizadas (10 días) para cada tratamiento con

los tres aceites esenciales, donde se aplicaron las dosis de 5, 10 y 15 $\mu\text{L}/\text{kg}$ a intervalos de exposición de 24, 48 y 72 h. Una vez transcurrido el período de exposición los insectos adultos y los granos fueron colocados en un frasco de vidrio y dejados en una cámara climática con las condiciones de temperatura de 27 ± 2 °C y una humedad relativa del $70 \pm 5\%$, por un periodo de 45 a 50 días para obtener la progenie (F1) del insecto *R. dominica*.

Pérdida de peso del grano de trigo

El grano del ensayo anterior para cada tratamiento fue utilizado para determinar la pérdida de peso. Esta evaluación se realizó siguiendo la técnica propuesta por Adams y Schulten, 1976, en el que se compara el peso promedio del grano sano y daños de la muestra. Este método requiere el cálculo de la proporción en peso del grano dañado por el insecto y el porcentaje de grano no dañado y es calculado mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Pérdida de peso (\%)} = \frac{(SNd) - (DNs) * 100}{S (Nd + Ns)}$$

Donde S= peso de grano sano

D = peso de grano dañado

Ns = números de granos sanos

Nd = números de granos dañados

El porcentaje de grano dañado será calculado mediante la siguiente fórmula

Grano dañado (%) = Peso de granos dañados/peso original del grano x100

Análisis estadístico

El experimento se llevó a cabo en un arreglo factorial, donde el factor A son los aceites esenciales, factor B dosis (5, 10 y 15 $\mu\text{L}/\text{kg}$) y el factor C tiempos (24, 48 y 72 h) y cinco repeticiones por tratamiento y testigo.

Los datos obtenidos de la mortalidad, el índice de repelencia, la emergencia de insectos adultos y la pérdida de peso en el grano se sometieron a un análisis de varianza de dos vías (ANDEVA). Todos los datos se compararon con Tukey a un nivel de significancia de 0.05. El análisis estadístico se realizó utilizando un paquete computacional JMP versión 8.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Mortalidad de *R. dominica*

La mortalidad en el tratamiento control fue cero, en el cual no existió una respuesta de muerte natural del insecto adulto en los periodos evaluados. Los tres tipos de aceite esencial mostraron una fuerte actividad contra *R. dominica*, obteniendo diferentes porcentajes de mortalidad entre los tratamientos y tiempos de exposición (Tabla 1). Además, su efectividad fue mayor al incrementar el tiempo de exposición y la dosis, existiendo una interacción entre los factores probados (Tabla 2). El aceite esencial de *M. viridiflora* fue el tratamiento que obtuvo una mayor efectividad sobre *R. dominica* alcanzando el 100% de mortalidad a las 24 h de exposición en todas las dosis probadas; el aceite de *E. ca-*

maldulensis presentó un efecto intermedio sobre el insecto y obteniendo una mortalidad completa en un periodo de 24 h para las dosis de 10 y 15 $\mu\text{L}/\text{kg}$; el aceite de *L. palmeri* fue el tratamiento con menor incidencia sobre la plaga obteniendo una mortalidad de 82% con una dosis de 15 $\mu\text{L}/\text{kg}$ a las 72 h (Tabla 1 y 2). Sin embargo, la mortalidad obtenida en los tratamientos de *L. palmeri* a las dosis probadas de 5 y 10 $\mu\text{L}/\text{kg}$ se encontraron por debajo del límite establecido del 50% de mortalidad para el uso de productos de origen botánico (Lagunes, 1994).

Tabla 1. Porcentaje de mortalidad (Error estándar) de *R. dominica* expuestos con tres aceites esenciales a diferentes dosis y periodos de exposición.

Table 1. Percentage of mortality (Standard error) of *R. dominica* exposed with three essential oils at different doses and exposure times.

*Dosis ($\mu\text{L}/\text{kg}$)	Aceite esencial	Tiempo (h)		
		24	48	72
5	<i>M. viridiflora</i>	94 \pm 1.73ab	100a	-
	<i>E. camaldulensis</i>	86 \pm 1.73b	100a	-
	<i>L. palmeri</i>	14 \pm 1.73d	32 \pm 1.41c	36 \pm 1.73c
10	<i>M. viridiflora</i>	100a	-	-
	<i>E. camaldulensis</i>	92 \pm 1.41b	-	-
	<i>L. palmeri</i>	32 \pm 1.41d	32 \pm 1.73d	46 \pm 1.73c
15	<i>M. viridiflora</i>	100a	-	-
	<i>E. camaldulensis</i>	100a	-	-
	<i>L. palmeri</i>	46 \pm 1.73d	64 \pm 1.73c	82 \pm 1.41b

Valores con diferente letra en cada dosis tratada son significativamente diferentes (Prueba de Tukey, $P < 0.05$).

Tabla 2. Prueba factorial del porcentaje de mortalidad para *R. dominica* en diferentes aceites esenciales, dosis y periodos de exposición.

Table 2. Factorial test of mortality percentage of *R. dominica* at different essential oils, doses, and exposure times

	Parámetros estadísticos	Dosis ($\mu\text{L}/\text{kg}$)		
		5	10	15
Tiempo	F	53.91	27.28	131.63
	P	< 0.001	< 0.001	< 0.001
	gl	2	2	2
Aceite esencial	F	865.66	1301.65	789.75
	P	< 0.001	< 0.001	< 0.001
	gl	2	2	2
Tiempo* Aceite esencial	F	5.86	8.34	131.63
	P	< 0.01	< 0.001	< 0.05
	gl	4	4	4

Los grados de libertad de las repeticiones por los factores y sus interacciones fueron 44.

El uso de los aceites esenciales como alternativas de control en el manejo de plagas depende de la dosis y del período de exposición. Se han demostrado que al incrementar la dosis de los aceites esenciales aumenta la eficiencia sobre los adultos de *R. dominica*, reportando mortalidades totales de este insecto a las 24 h de exposición utilizando dosis de hasta 129.03 $\mu\text{L}/\text{L}_{(\text{aire})}$ de los aceites esenciales de *Mentha pulegium* L. (Lamiales: Lamiaceae), *Lavanda stoechas* L. (Lamiales: lamiaceae) y *Ruta chalepensis* L. (Sapindales: Rutaceae) (Ncibi et al., 2020). Además, se han reportado que al incrementar el tiempo de exposición la efectividad de los aceites de *Eucalypt-*

tus globulus L. (Myrtales: Myrtaceae) y *L. stoechas* aumenta sobre el insecto *R. dominica* (Ebadollahi *et al.*, 2010; Chandel *et al.*, 2019). Estos resultados comparados con los datos obtenidos en el estudio nos permiten subrayar la presencia de insecticidas potenciales contra *R. dominica*.

Índice de Repelencia (IR) de *R. dominica*

Los tres aceites esenciales registraron una actividad repelente sobre los adultos de *R. dominica*, obteniendo un IR menor de 1 en cada dosis y tiempos de exposición probado, lo cual los clasifica como repelentes. (Figura 1).

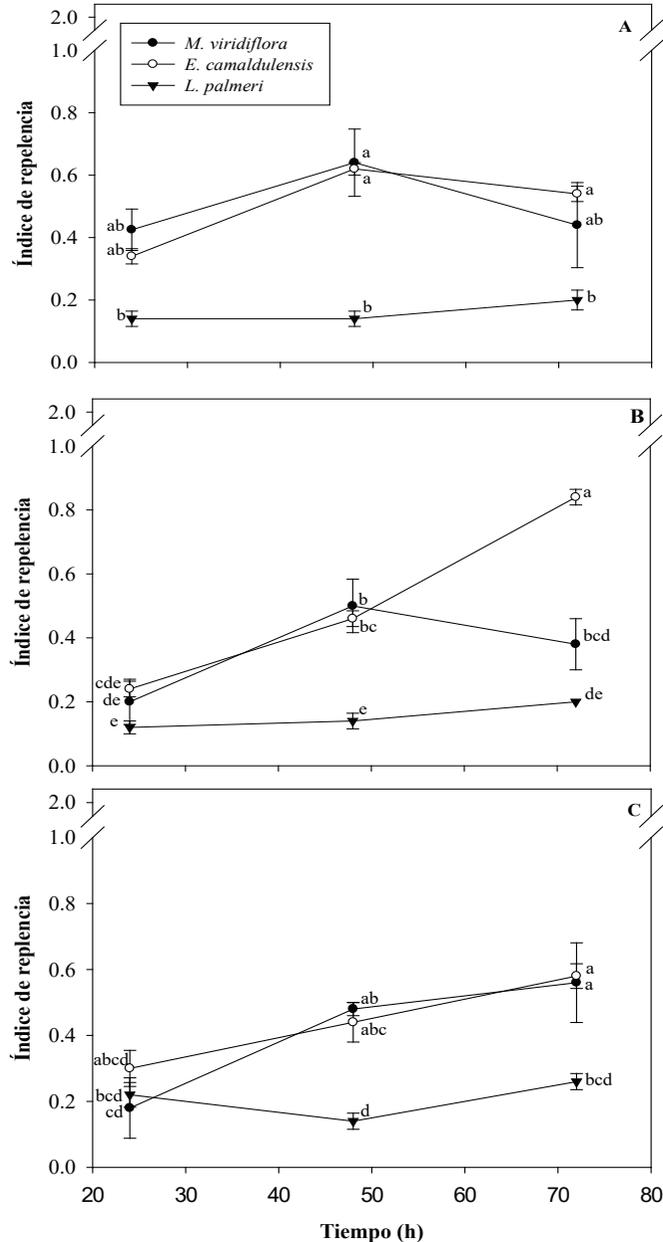


Figura 1. Índice de repelencia de *R. dominica* expuestos con tres aceites esenciales a diferentes dosis (A) 5 µL/kg, (B) 10 µL/kg y (C) 15 µL/kg. Valores con diferente letra son significativamente diferentes (Prueba de Tukey, $P < 0.05$).

Figure 2. Repellency index of *R. dominica* exposed with three essential oils at different doses (A) 5 µL/kg, (B) 10 µL/kg y (C) 15 µL/kg. Values with different letters are significantly different (Tukey's test, $P < 0.05$).

Tabla 3. Prueba factorial del índice de repelencia de *R. dominica* en diferentes aceites esenciales, dosis y periodos de exposición.

Table 3. Factorial test of *R. dominica* repellency index at different essential oils, doses, and exposure times.

	Parámetros estadísticos	Dosis (µL/kg)		
		5	10	15
Tiempo	F	4.91	26.74	10.81
	P	< 0.05	< 0.001	< 0.001
	gl	2	2	2
Aceite esencial	F	27.09	41.57	12.65
	P	< 0.001	< 0.001	< 0.001
	gl	2	2	2
Tiempo*	F	1.86	11.40	2.99
	P	0.139	< 0.001	< 0.05
	gl	4	4	4

Los grados de libertad de las repeticiones por los factores y sus interacciones fueron 44

Además, el IR fue significativamente diferente para cada aceite esencial y tiempo de exposición en las diferentes dosis probadas, mostrando una interacción entre estos factores para las dosis de 10 y 15 µL/kg (Tabla 3). El aceite de *L. palmeri* mostró una mayor actividad repelente sobre los adultos de *R. dominica* en todas las dosis probadas con respecto a los otros dos aceites esenciales (Figura 1). El aceite de *M. viridiflora* fue el que obtuvo un IR intermedio y el *E. camaldulensis* fue el aceite que menor actividad repelente presentó para cada dosis probada (Figura 1 A, B). Sin embargo, al incrementar la dosis a 15 µL/kg no mostró diferencias significativas con respecto al aceite de *M. viridiflora* (Figura 1 C).

El IR de los aceites esenciales en contra del insecto *R. dominica* depende de la especie de la planta donde se extrae el aceite esencial y el período de exposición, como es en el caso de *E. camaldulensis* que al incrementar el tiempo de exposición de 72 horas el IR disminuye, puede ser al que el insecto se va adaptando a los componentes volátiles del aceite esencial. Se ha observado este tipo de comportamientos en *R. dominica* con los aceites esenciales de *E. globulus* y *E. camaldulensis* indicándose que los aceites esenciales ejercen un efecto activador del metabolismo de los insectos para sintetizar una mayor cantidad de enzimas amilolíticas, y así contrarrestar el efecto insecticida permitiendo al insecto, digerir el almidón del grano (Reyes-Guzmán *et al.*, 2012). (Figura 1B). También se ha reportado que la concentración del aceite esencial influye sobre la actividad repelente, estudios con *Eucalyptus globulus* en contra de *R. dominica* encontraron que cuando la dosis se incrementa a 0.16, 0.24 y 0.32 µL/cm² la actividad repelente tiende a aumentar a 43.5, 47.5 y 62.5% respectivamente, después de las 36 horas de exposición (Aref y Valizadegan, 2015). Otros estudios han registrado la repelencia sobre *R. dominica* con el uso de otros aceites esenciales a una dosis de 70 µL/L aire de las especies de *Eucalyptus kruseana*, *E. floribunda*, *E. dundasii* L. (Myrtales: Myrtaceae) con un índice de repelencia de 0.23, 0.39 y 0.39, respectivamente (Aref y Valizadegan, 2015). Estos valores se encuentran dentro de los rangos observados en nuestros resultados obteniendo un IR máximo de 0.84 y un mínimo

de 0.12 para *E. camaldulensis* y *L. palmeri*, respectivamente (Figura 1). En base a los resultados obtenidos los aceites esenciales de *L. palmeri*, *M. viridiflora* y *E. camaldulensis* pueden ser considerados candidatos como agentes repelentes de *R. dominica*.

Emergencia de la progenie (F1) *R. dominica*

La emergencia de adultos de *R. dominica* en el tratamiento control fue mayor en comparación con los demás tratamientos con los aceites esenciales obteniendo una media de 41.8 individuos ($P < 0.05$). Los tres aceites esenciales registraron emergencia de los individuos adultos de *R. dominica* (Figura 2).

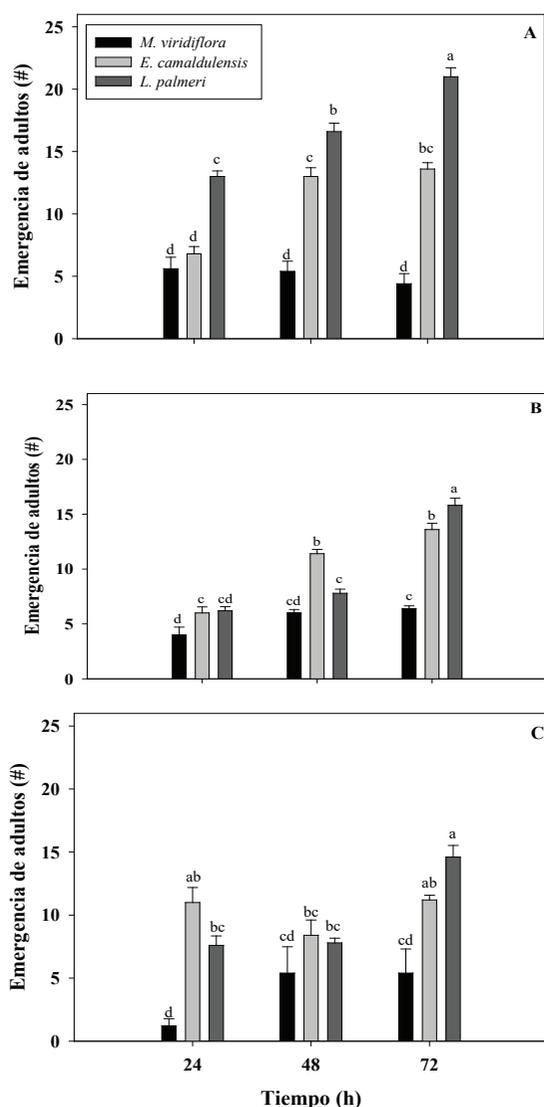


Figura 2. Emergencia de adultos de *R. dominica* expuestos con tres aceites esenciales a diferentes dosis (A) 5 µL/kg, (B) 10 µL/kg y (C) 15 µL/kg. Valores con diferente letra son significativamente diferentes (Prueba de Tukey, $P < 0.05$).

Figure 2. Emergency of *R. dominica* adults exposed with three essential oils at different doses (A) 5 µL/kg, (B) 10 µL/kg y (C) 15 µL/kg. Values with different letter are significantly different (Tukey's test, $P < 0.05$).

La emergencia de los adultos de *R. dominica* fue significativamente diferente para cada aceite esencial y tiempo de exposición probados, mostrando una interacción entre estos dos factores para cada dosis tratada (Tabla 4). El aceite de *M. viridiflora* presentó un mayor efecto sobre la emergencia de *R. dominica* con respecto a los otros dos aceites esenciales, donde solamente lograron emerger una media de 1.2 individuos en la dosis de 15 µL/kg a las 24 h de exposición (Figura 2 C). El aceite de *E. camaldulensis* fue el que mostró una emergencia intermedia en general del insecto en todas las dosis probadas (Figura 2). El aceite *L. palmeri* a una dosis de 5 µL/kg a un tiempo de exposición de 72 h fue el que obtuvo un menor efecto sobre la emergencia de *R. dominica* con una media de 21 adultos emergidos (Figura 1 A).

Tabla 4. Prueba factorial de la emergencia de adultos de *R. dominica* en diferentes aceites esenciales, dosis y periodos de exposición.

Table 4. Factorial test of the emergency of *R. dominica* adults at different essential oils, doses, and exposure times.

Parámetros estadísticos	Dosis (µL/kg)			
	5	10	15	
Tiempo	F	209.33	91.87	25.94
	P	< 0.001	< 0.001	< 0.001
	gl	2	2	2
Aceite esencial	F	33.01	109.32	8.72
	P	< 0.001	< 0.001	< 0.001
	gl	2	2	2
Tiempo* Aceite esencial	F	14.55	22.24	4.07
	P	< 0.001	< 0.001	< 0.01
	gl	4	4	4

Los grados de libertad de las repeticiones por los factores y sus interacciones fueron 44

Otros estudios han reportado una inhibición total de la progenie F1 de *R. dominica* en dosis de 10 y 15 µL/kg del aceite esencial de *Eucalyptus globulus* a un tiempo de exposición 72 h, pero con el aceite de *E. camaldulensis* se tiene una emergencia máxima de 29.3 individuos por un tiempo de exposición de 72 h y una mínima de 14 individuos a un periodo de 48 h, ambas con la dosis de 15 µL/kg (Reyes-Guzmán *et al.*, 2012). Estos resultados con el aceite *E. camaldulensis* son similares a los obtenidos en nuestro estudio, teniendo el mismo comportamiento que ha medida incrementa el período de exposición aumenta el número de adultos emergidos de *R. dominica*. Batish *et al.* (2008), reportó que impregnando al grano con el aceite esencial de *Eucalyptus* spp. se endurece la capa externa del huevo y previene su desarrollo por la falta de oxígeno. Sin embargo, en este estudio se obtuvo un efecto de estrés sobre el insecto adulto mediante la saturación de la atmosfera con los diferentes tipos aceite esencial utilizados y aumentando la dosis aplicada.

Pérdida de peso del grano de trigo

La pérdida de peso producido por *R. dominica* en el tratamiento control fue mayor en comparación con los tratamientos de los aceites esenciales obteniendo una media de 11% ($P < 0.05$), además los tres aceites esenciales influyeron

sobre la alimentación del insecto (Tabla 5). La pérdida de peso obtenido fue significativamente diferente para cada aceite esencial y el tiempo de exposición, así como su interacción para los tratamientos de 5 y 10 µL/kg, para la dosis de 15 µL/kg la interacción de los factores aceite esencial y tiempo de exposición no fue significativo (Tabla 4). El aceite de *M. viridiflora* fue el tratamiento que obtuvo una menor pérdida de peso registrando una mínima de un 0.22% con una dosis de 15 µL/kg a las 24 h de exposición, mientras que el aceite *E. camaldulensis* presentó una mayor pérdida de hasta un 4.61% con una dosis de 5 µL/kg a las 72 h de exposición (Tabla 5).

Tabla 5. Porcentaje de la pérdida peso del trigo (Error estándar) producido por *R. dominica* expuestos con tres aceites esenciales a diferentes dosis y periodos de exposición.

Table 5. Percentage of wheat loss weight (Standard error) produced by *R. dominica* exposed to three essential oils at different doses and exposure times.

Dosis (µL/kg)	Aceite esencial	Tiempo (h)		
		24	48	72
5	<i>M. viridiflora</i>	1.87 ± 0.07c	1.16 ± 0.11d	1.24 ± 0.04d
	<i>E. camaldulensis</i>	0.76 ± 0.04e	4.33 ± 0.03b	4.61 ± 0.06a
	<i>L. palmeri</i>	0.72 ± 0.04e	1.08 ± 0.05d	1.27 ± 0.07d
10	<i>M. viridiflora</i>	0.70 ± 0.06f	1.32 ± 0.07d	1.11 ± 0.04de
	<i>E. camaldulensis</i>	1.73 ± 0.06c	3.68 ± 0.06b	4.17 ± 0.05a
	<i>L. palmeri</i>	0.70 ± 0.05f	1.04 ± 0.05e	1.30 ± 0.08d
15	<i>M. viridiflora</i>	0.22 ± 0.09d	0.92 ± 0.47cd	0.80 ± 0.35cd
	<i>E. camaldulensis</i>	1.66 ± 0.08bc	2.62 ± 0.12ab	2.19 ± 0.08b
	<i>L. palmeri</i>	2.30 ± 0.09b	1.10 ± 0.08cd	3.56 ± 0.10a

Valores con diferente letra en cada dosis tratada son significativamente diferentes (Prueba de Tukey, P < 0.05).

Tabla 6. Prueba factorial de la pérdida de peso del trigo por *R. dominica* en los diferentes aceites esenciales, dosis y periodos de exposición.

Table 6. Factorial test of wheat loss weight by *R. dominica* at different essential oils, doses, and exposure times.

Parámetros estadísticos		Dosis (µL/kg)		
		5	10	15
Tiempo	F	46.01	132.52	8.49
	P	< 0.001	< 0.001	< 0.01
	gl	2	2	2
Aceite esencial	F	80.73	312.23	23.18
	P	< 0.001	< 0.001	< 0.001
	gl	2	2	2
Tiempo*Aceite esencial	F	52.35	41.87	0.75
	P	< 0.01	< 0.001	0.475
	gl	4	4	4

Los grados de libertad de las repeticiones por los factores y sus interacciones fueron 44

La pérdida de peso para cada aceite esencial fue variando a medida que se trataban con diferentes dosis, en la dosis de 5 µL/kg los aceites que obtuvieron una menor pérdida de peso fueron *E. camaldulensis* y *L. palmeri*, para la dosis de 10 µL/kg fueron *M. viridiflora* y *L. palmeri*, y finalmente en la dosis de 15 µL/kg fue *M. viridiflora*. Estos datos fueron registrados a las 24 h de exposición, sugiriendo que al incrementar el periodo de exposición con los aceites esencia-

les el insecto suele adaptarse a ellos y aumenta su actividad metabólica. La actividad metabólica de *R. dominica* depende de sus enzimas digestivas que le permiten alimentarse de los granos y están conformadas por isoamilasas que hidrolizan el almidón y enzimas del tipo serina proteasas (Zhu-Salzman *et al.*, 2003; Cinco-Moroyoqui *et al.*, 2008; Osuna-Amarillas *et al.*, 2012).

Otros estudios han registrado alteraciones en la fisiología nutricional con *Sitophilus oryzae* L. (Coleoptera: Curculionidae) utilizando el aceite esencial de hojas y frutos de *Schinus molle* L. (Magnoliopsida: Anacardiaceae), además, el aceite de frutos produjo efecto inhibitorio de la alimentación con un índice fagodisuasivo de 62% (Benzi *et al.*, 2009). En nuestro estudio la pérdida de peso del trigo fue menor en los tratamientos con los aceites esenciales con respecto al control debido a que la emergencia de la nueva generación F1 fue relativamente baja. Además, se sugiere que los estados larvarios (etapa con mayor apetito del insecto) fueron afectados por estar expuestos a los aceites esenciales alterando su alimentación, ya que los componentes de los aceites esenciales por lo general son desfavorables para el insecto, produciendo una inhibición de su alimentación u ovoposición (Cruzat *et al.*, 2009).

CONCLUSIONES

El potencial de efectividad de los aceites esenciales para el control correctivo de la plaga *R. dominica* difiere de acuerdo con el tipo de aceite esencial quedando en el siguiente orden: *M. viridiflora*, *E. camaldulensis* y *L. palmeri*. La mortalidad de *R. dominica* incrementa con el aumento de las dosis y el periodo de exposición. Además, entre los aceites esenciales probados *M. viridiflora* fue el que ejerció un mayor efecto inhibitorio sobre la emergencia de *R. dominica* y a su vez obtuvo la mayor reducción en la pérdida de peso en el grano de trigo. También, los aceites esenciales seleccionados mostraron tener un control preventivo sobre el insecto, siendo *L. palmeri* el que mostró mayor actividad repelente con respecto a los otros dos aceites esenciales. Sin embargo, al incrementar el periodo de exposición con los aceites esenciales disminuía su actividad repelente. Estos aceites esenciales pueden ser utilizados como una alternativa natural para reducir la presencia de insectos durante el almacenamiento de trigo, constituye una herramienta de bajo impacto ambiental adaptada a las necesidades socio-económicas de pequeños y medianos productores.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Programa de Mejoramiento del Profesorado (PROMEP) por el financiamiento otorgado para la realización del presente estudio a través del proyecto PROMEP/103.5/10/4593.

LITERATURA CITADA

Abbott, W.S. 1925. A method of computing the effectiveness of an insecticide. *Journal of Economic Entomology*. 18: 265-267. <https://doi.org/10.1093/jee/18.2.265a>

- Adams, J.M. y Schulten, G.G.M. 1976. Losses caused by insects, mites and microorganisms. In: American Association of Cereal Chemists. Postharvest grain loss assessment methods. Slough, England. P. 83-93.
- Aref, S.P. y Valizadegan, O., 2015. Fumigant toxicity and repellent effect of three Iranian Eucalyptus species against the lesser grain beetle, *Rhyzopertha dominica* (F.) (Col.: Bostrichidae). *Journal of Entomology and Zoology Studies*. 3: 198-202.
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC). 1975. William Horwintz, Alam Sen Zel and Helen Reynolds. *Research in Veterinary Science*. 6.006. Ed. (25): 77.
- Batish, D. R., Pal-Singh, H., Kohli, R. K. y Kaur, S. 2008. *Eucalyptus* essential oil as natural pesticide. *Forest Ecology and Management*. 256: 2166-2174. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.08.008>
- Benzi, V., Stefanazzi, N. y Ferrero, A.A. 2009. Biological activity of essential oils leaves and fruits of pepper tree (*Schin molle* L.) to control rice weevil (*Sitophilus oryzae* L.). *Chilean Journal of Agricultural Research*. 69 (2): 154-159.
- Bouvier, J., Buès, R., Boivin, T., Boudinhon, L., Beslay, D. y Sauphanor, B. 2001. Deltamethrin resistance in the codling moth (Lepidoptera: Tortricidae): inheritance and number of genes involved. *Heredity* 87: 456-462.
- Cinco-Moroyoqui, F.J., Díaz-Malvárez, F.I., Alanís-Villa, A., Barrón-Hoyos, J.M., Cárdenas-López, J.L., Cortez-Rocha, M.O. y Wong-Corral, F.J. 2008. Isolation and partial characterization of three isoamylases of *Rhyzopertha dominica* F. (Coleoptera: bostrichidae). *Comparative Biochemistry Physiology B*. 150: 153-160.
- Cruzat, M., Silva, G., Serri, H. y Hepp, R. 2009. Protección de Ocho Cultivares de Trigo con Polvo de *Peumus boldus* Molina Contra *Sitophilus zeamais* Motshulsky. *IDESIA (Chile)* 27 (2): 39-46.
- Chandel, R.K., Nebapure, S.M., Sharma, M., Subramanian, S., Srivastava, C. y Khurama, S.M.P. 2019. Insecticidal and repellent activities of eucalyptus oil against lesser grain borer *Rhyzopertha dominica* (Fabricius). *Journal Microbiology Biotechnology and Food Science* 9 (3): 525-529.
- Ebadollahi, A., Safaralizadeh, M.H. y Pourmirza, A.A. 2010. Fumigant toxicity of essential oils of *Eucalyptus globulus* Labill and *Lavandula stoecha* L., grown in Iran, against the two Coleopteran Insect Pest; *Lasioderma serricorne* F. and *Rhyzopertha dominica* F. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*. 20 (1):1-5.
- Ghabbari, M.; Guarino, S.; Caleca, V.; Saiano, F.; Sinacori, M.; Baser, N.; Mediouni, J.; Verde, G. 2018. Behavior-modifying and insecticidal effects of plant extracts on adults of *Ceratitis capitata* (Wiedemann) (Diptera Tephritidae). *Journal of Pest Science*, 91 (1): 907-917. <https://doi.org/10.1007/s10340-018-0952-6>
- Iturralde-García, R.D., Wong-Corral, F.J., Castañé, C., Riudavets, J. 2020. Susceptibility of *Rhyzopertha dominica* to high CO₂ modified atmospheres in packaged chickpeas. *Journal of Stored Products Research*, 85, 101537. [10.1016/j.jspr.2019.101537](https://doi.org/10.1016/j.jspr.2019.101537)
- Martínez-Evaristo, X.C., Borboa-Flores, J., Wong-Corral, F.J., Cinco-Moroyoqui, F.J., Del-Toro-Sánchez, C.L., González-de León, A., Ortega-Nieblas, M.M., Cornejo-Ramirez, Y.I., Osuna-Amarillas, P.S. y Cabral-Torres, F.A. 2015. Insecticidal Efficacy and Repellency of Oregano (*Lippia palmeri*) Essential Oil for Control of *Sitophilus zeamais* and *Prostephanus truncatus* in Stored Maize. *Southwestern Entomology*. 40 (4): 713-720. <https://doi.org/10.3958/059.040.0410>
- Lagunes, A. 1994. Uso de extractos, polvos vegetales, y polvos minerales para el combate de plagas del maíz y del frijol en la agricultura de subsistencia. Colegio de Postgraduados. USAID, CONACYT, BORUCONSA. Texcoco, México. 35 pp.
- Mazzonetto, F. 2002. Efeito de genótipos de feijoeiro e de pós de origem vegetal sobre *Zabrotes subfasciatus* (Boh.) e *Acanthoscelides obtectus* (Say) (Col: Bruchidae). 2002. 134p. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, Piracicaba. [10.11606/T.11.2002.tde-31072002-141929](https://doi.org/10.11606/T.11.2002.tde-31072002-141929)
- Ncibi, S., Attia, S., Diop, S.M.B., Ammar, M. y Hance, T. 2020. Bio-insecticidal activity of three essential oils against *Rhyzopertha dominica* (Fabricius, 1792) (Coleoptera: Bostrichidae). *African Entomology*. 28 (2): 339-348. <https://doi.org/10.4001/003.028.0339>
- Osuna-Amarillas, P.S., Cinco-Moroyoqui, F.J., Cárdenas-López, J.L., Ezquerro-Brauer, J.M., Sotelo-Mundo, R., Cortez-Rocha, M.O., Barrón-Hoyos, J.M., Rouzaud-Sández, O. y Borboa-Flores, J., 2012. Biochemical and kinetic characterization of the digestive trypsin-like activity of the lesser grain borer *Rhyzopertha dominica* (F.) (Coleoptera: bostrichidae). *Journal Stored Products Research*. 51: 41-48. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2012.06.005>
- Rees, D.P., 1995. Coleoptera. In: Subramanyam, Bh, Hagstrum, D.W. (Eds.), *Integrated Management of Insects in Stored Products*. Marcel Dekker, New York, pp. 1-41.
- Reyes-Guzmán, R., Borboa-Flores, J., Cinco-Moroyoqui, F.J., Rosas-Burgos, E.C., Osuna-Amarillas, P.S., Wong-Corral, F.J., Ortega-Nieblas, M.M. y León-Lara, J.D. 2012. Actividad insecticida de aceites esenciales de dos especies de *Eucalyptus* sobre *Rhyzopertha dominica* y su efecto en enzimas digestivas de progenies. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. 18 (3): 385-394. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2012.02.015>
- Yang, C., Chang, X., Zhang, M., Ni, X., Gong, G., Yue, G., Sun, X. y Chen, H. 2017. Active compounds of stem bark extract from *Schima superba* and their molluscicidal effects on *Pomacea canaliculata*. *Journal of Pest Science*, 91 (1): 437-445. <https://doi.org/10.1007/s10340-017-0848-x>
- Zhu-Salzman, K., Koiwa, H., Salzman, R.A., Shade, R.E. y Ahn, J.E., 2003. Cowpea bruchid *Callosobruchus maculatus* uses a three-component strategy to overcome a plant defensive cysteine protease inhibitor. *Insect Molecular Biology* 12 (2): 135-145. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2583.2003.00395.x>