

Daños de *Strategus aloeus* (Coleoptera: Scarabaeidae) en dos especies de agave y su manejo a base de hongos entomopatógenos en suspensiones de aceite

Strategus aloeus (Coleoptera: Scarabaeidae) damage in two agave species and its management based on entomopathogenic fungi in oil suspensions

 TEODULFO AQUINO-BOLAÑOS^{1*},  TLACAELEL AQUINO-LÓPEZ¹,
 JAIME RUIZ-VEGA¹,  ANGÉLICA BAUTISTA-CRUZ¹

¹Instituto Politécnico Nacional, Oaxaca. México. taquino@ipn.mx, taquino1800@alumno.ipn.mx, jvega@ipn.mx, mbautistac@ipn.mx

* Autor de correspondencia

Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Oaxaca (CIIDIR-IPN-OAXACA). Hornos No. 1003, Col. Noche Buena, Santa Cruz Xoxocotlán C.P. 71230, Oaxaca. México. Teléfono: (951) 5170610 Ext. 82725, México. taquino@ipn.mx

Citación sugerida

Aquino-Bolaños T., Aquino-López, T., Ruiz-Veja, J., & Bautista-Cruz, A. (2024). Daños de *Strategus aloeus* (Coleoptera: Scarabaeidae) en dos especies de agave y su manejo a base de hongos entomopatógenos en suspensiones de aceite. *Revista Colombiana de Entomología*, 50(1), e12865. <https://doi.org/10.25100/socolen.v50i1.12865>

Recibido: 13-Mar-2023

Aceptado: 10-Nov-2023

Publicado: 11-Ene-2024

Revista Colombiana de Entomología
ISSN (Print): 0120-0488
ISSN (On Line): 2665-4385
<https://revistacolombianaentomologia.univalle.edu.co>

Open access



BY-NC-SA 4.0
creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Publishers: Sociedad Colombiana de Entomología
SOCOLEN (Bogotá, D. C., Colombia)
<https://www.socolen.org.co>
Universidad del Valle (Cali, Colombia)
<https://www.univalle.edu.co>

Resumen: En el estado de Oaxaca, México, por sus características agroecológicas, se han desarrollado y cultivado más de 24 especies de agave, que han sido aprovechadas de forma integral para la elaboración de mezcal, siendo una actividad de importancia económica. Este cultivo se ve afectado por la incidencia de *Strategus aloeus* (Coleoptera: Scarabaeidae), insecto que causa daños y pérdidas de importancia económica a plantas de agaves menores de 3 años de edad. Para su control se utilizan insecticidas sistémicos; sin embargo, debido a los hábitos del insecto el control biológico es una alternativa para su manejo. En este trabajo se determinaron las pérdidas y los daños causados por adultos de *S. aloeus* en *Agave potatorum* Zucc. y *A. angustifolia* Haw. a partir de las observaciones en campo. En laboratorio, se evaluaron dos hongos entomopatógenos, *Beauveria bassiana* y *Metarhizium robertsii* (antes conocido como *M. anisopliae*), a una concentración de 1×10^7 conidios/insecto en emulsiones de aceite vegetal (*Persea americana*, *Ricinus communis* y *Prunus dulcis*) a dos concentraciones de 20 % y 40 %. El daño encontrado para *A. potatorum* con un tamaño de muestra de 85 plantas evaluadas fue de 79,90 %. Para *A. angustifolia*, con igual número de plantas, se encontró un 65,86 % de daño. Las pérdidas encontradas en 85 plantas de *A. angustifolia* con daños grados 4 y 5 fueron de 1 794,9 y 2 227,5 g/planta y para *A. potatorum* con daños grados 4 y 5 fueron de 1 631,9 y 2 119,7 g/planta. En laboratorio se necesitaron 48 horas para el 100 % de efectividad sobre adultos de *S. aloeus* con los tratamientos *B. bassiana* + *P. americana* al 40 % y *B. bassiana* + *P. dulcis* al 40 %.

Palabras clave: Aceites insecticidas, *Agave angustifolia*, *Agave potatorum*, *Beauveria bassiana*, escarabajo rinoceronte, *Metarhizium robertsii*.

Abstract: Due to its agroecological characteristics, more than 24 species of agave have been developed and cultivated in the state of Oaxaca, Mexico, which have been fully exploited for the production of mezcal, an activity of economic importance. This crop is affected by the incidence of *Strategus aloeus* (Coleoptera: Scarabaeidae), an insect that causes damage and losses of economic importance to agave plants less than 3 years of age, for its control systemic insecticides are used; however, due to the habits of the insect, biological control is an alternative for its management. In this study, losses and damage caused by adults of *S. aloeus* on *Agave potatorum* Zucc. and *A. angustifolia* Haw. were determined from field observations. In the laboratory, two entomopathogenic fungi, *Beauveria bassiana* and *Metarhizium robertsii* (formerly known as *M. anisopliae*), were evaluated at a concentration of 1×10^7 conidia/insect in vegetable oil emulsions (*Persea americana*, *Ricinus communis*, and *Prunus dulcis*) at two concentrations of 20 % and 40 %. The damage found for *A. potatorum* with a sample size of 85 plants evaluated was 79.90 %. For *A. angustifolia*, with the same number of plants, 65.86 % damage was found. The losses found in 85 plants of *A. angustifolia* with damage grades 4 and 5 were 1 794.9 and 2 227.5 g/plant and for *A. potatorum* with damage grades 4 and 5 were 1 631.9 and 2 119.7 g/plant. In the laboratory, 48 hours were needed for 100 % effectiveness on *S. aloeus* adults with the treatments *B. bassiana* + *P. americana* 40 % and *B. bassiana* + *P. dulcis* 40 %.

Keywords: *Agave angustifolia*, *Agave potatorum*, *Beauveria bassiana*, insecticidal oils, *Metarhizium robertsii*, rhinoceros beetle.

Introducción

En el estado de Oaxaca, México, se cultivan más de 10,000 hectáreas de *Agave* spp. (SIAP 2023, y se destinan 200,000 toneladas de agave mezcalero (*Agave angustifolia* Haw., *A. potatorum* Zucc., *A. seemanniana* Jacobi, *A. carwinskii* Zucc., *A. marmorata* Roetzl, *A. americana* L.) para la industria del mezcal. La agroindustria agavera genera en toda la república mexicana empleos para más de 85 mil trabajadores y 17 mil productores que cultivan más de 111.420 hectáreas para producir “tequila” y “mezcal”, bebidas alcohólicas con demanda nacional e internacional; las ventas superaron los mil millones de dólares en el año 2017 (SAGARPA, 2017;). *Strategus aloeus* L. (Coleoptera: Scarabaeidae: Dynastinae) en etapa adulta está presente en la zona de denominación de origen del tequila y mezcal, como son los estados de Jalisco, Michoacán, Guanajuato, Nayarit y Tamaulipas; sin embargo, en Oaxaca, México, no se ha reportado que este escarabajo afecte la producción del cultivo de agave, en parcelas adyacentes a bosques de encino-pino (Aquino-López, 2020). García et al. (2009) y Rodríguez et al. (2019) reportaron que los adultos de varias especies de coleópteros, entre ellos *S. aloeus*, afectan especies de la familia Agavaceae, especialmente en plantaciones jóvenes de 1-3 años o recién sembradas, sin embargo, no se ha estimado el daño y las pérdidas causadas por este insecto que se considera plaga en su estado adulto. Se sabe que *S. aloeus* es activo durante la noche y se observa en campo en cultivos de agave desde el inicio de las lluvias; los daños se pueden observar en la base del tallo y raíces de la planta de agave dejando una galería del tamaño del cuerpo del insecto, asilo que provoca la detención del crecimiento y desarrollo de la planta (Aquino-López, 2020). Las larvas se pueden encontrar debajo del suelo y su manejo siempre ha sido difícil (CESAVEG, 2008; Patil et al., 2017). La aplicación de plaguicidas sintéticos es el método principal para el control de estas plagas (Teran-Vargas et al., 2012). Esos productos son efectivos y han sido aplicados los últimos 50 años; sin embargo, su uso excesivo y prolongado ha ocasionado problemas ambientales e incrementado la resistencia de estas plagas (Villavicencio-Nieto et al., 2010).

Los aceites de origen vegetal son una opción para el control de diferentes insectos, el modo de acción tóxica del aceite sobre el insecto en estado adulto actúa cubriendo al insecto, muere por asfixia por que se tapan los espiráculos (Davidson, 1991). De acuerdo con Zitter y Simons (1980) y Feria et al. (2009), los aceites son productos autorizados en la agricultura ecológica que poseen un gran potencial de empleo en la sanidad vegetal, se caracterizan por ser productos de baja toxicidad para los vertebrados, además de ser compatibles con los enemigos naturales, por ser selectivos contra el insecto objetivo y no dar lugar al desarrollo de resistencias, y degradarse con rapidez. Además, los aceites actúan como repelentes o disuasivos de la alimentación u oviposición, y sobredimensionan sus efectos protectores (Silva et al., 2002).

Para la conservación de microorganismos los aceites minerales tienen un lugar de preferencia por ser métodos de bajo costo, sencillos y seguros, capaces de garantizar la viabilidad de hongos entomopatógenos (Feria et al., 2009; Malik & Hoffmann, 1993). El objetivo de este estudio fue determinar las pérdidas y los daños causadas por el adulto de *S. aloeus* en *A. potatorum* y *A. angustifolia* y sus métodos de control

a base de hongos entomopatógenos *Beauveria bassiana* y *Metarhizium robertsii* formulados en emulsiones de aceites de *Persea americana*, *Ricinus communis* y *Prunus dulcis*, en laboratorio.

Materiales y métodos

Este trabajo de investigación se realizó en dos fases experimentales. En condiciones de laboratorio se evaluaron hongos entomopatógenos en emulsión de aceites sobre adultos de *S. aloeus*, en el laboratorio de control biológico en el Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR) IPN Unidad Oaxaca, ubicado en Santa Cruz Xoxocotlán Oaxaca, (17°02'77"N, 96°72'00"O a 1564 m. s.n.m.). Se trabajó con una humedad relativa máxima de 56 % ± 8,36 % y una mínima de 45 % ± 8,68 % y una temperatura máxima de 23 °C ± 2,16 °C y una mínima de 21 °C ± 2 °C. En la fase de campo, se determinaron pérdidas y daños, en plantas de *Agave potatorum* y *Agave angustifolia*, en la comunidad de Tlacolula en los Valles Centrales del Estado de Oaxaca, (16°56'34,5"N, 96°27'60,0"O a 1420 m. s.n.m.). Presenta una precipitación anual de 167 mm de lluvia, con una humedad relativa del 80 %, con temperaturas que oscilan en el año de 10 °C -28 °C.

Determinación de daño causado por los adultos de *Strategus aloeus* en plantas de agave

Para determinar los daños causados por los adultos de *S. aloeus*, se realizaron evaluaciones en plantas de *A. potatorum* y *A. angustifolia* de 3 años de edad en el 2020. Se revisaron al azar mensualmente 17 plantas de *A. potatorum* y 17 plantas de *A. angustifolia* con diferentes grados de afectación de daño. Para esta evaluación se trabajó con 170 plantas obtenidas de 5 muestreos, 85 plantas de *A. potatorum* y 85 plantas de *A. angustifolia*. Para determinar el daño en plantas de agave se asignó una categoría de daño de acuerdo con la profundidad de las galerías encontradas en tallos-raíz de plantas de agave (Tabla 1) utilizando la metodología de Aquino Bolaños et al. (2007). Para determinar el porcentaje de daño se utilizó la fórmula de Townsend y Herberger (Püntener & Zahner, 1981).

$$P = (\sum V * n / \text{Categoría mayor} * N) * 100$$

Dónde:

P = % de daño causado por el *S. aloeus*

V = valor numérico de cada categoría de daño utilizada.

n = número de plantas de agave por categoría de daño

N = número total de plantas de agave en la muestra

Determinación de pérdidas causadas por adultos de *S. aloeus* en plantas de agave

Para determinar la relación entre los rendimientos en plantas de agave sanas y los rendimientos en plantas de agave afectadas por el ataque del adulto de *S. aloeus*; en el año 2020 se realizaron 5 muestreos, en donde se revisaron al azar 17 plantas de *A. potatorum* y 17 de *A. angustifolia* con diferentes grados de afectación de daño, para un total de 170 plantas (Tabla 1). Las plantas se pesaron en una balanza de 50 kg de

capacidad, con una precisión de ±10 g, las pérdidas se determinaron mediante la fórmula de Vázquez (2003).

$$K = 100 (a-b)$$

K = pérdidas

a = peso de plantas sanas

b = peso de plantas dañadas

Tabla 1. Porcentaje de daños causados por *S. aloeus* en plantas de agave.

| Categoría de daño | Profundidad del daño (cm) | Número de plantas dañadas/categoría |
|-------------------|---------------------------|-------------------------------------|
| 1 | 0 | N1 |
| 2 | 1-7 | N2 |
| 3 | 7,1-13 | N3 |
| 4 | 13,1-19 | N4 |
| 5 | >19,1 | N5 |

Análisis estadístico

Los porcentajes encontrados en daños se normalizaron mediante la transformación $\sqrt{(x/100)}$ y las medias comparadas se sometieron a un análisis de la varianza (ANOVA); se utilizó la prueba de rangos múltiples de Tukey al 95 % de probabilidad y se utilizó el programa Sistema de Análisis Estadístico (SAS University edition, 2017), además se realizó un análisis de correlación para establecer la relación de Pearson entre el grado de daño de la planta y la profundidad del daño causado por *S. aloeus*.

Evaluación de hongos entomopatógenos en emulsión de aceites sobre adultos de *S. aloeus* en laboratorio.

Preparación de la suspensión de conidios en emulsiones de aceite.

Para la evaluación de la eficacia de los hongos entomopatógenos (*Beauveria bassiana* y *Metarhizium robertsii*); estos se suspendieron en emulsiones de los aceites vegetales de aguacate (*Persea americana* Miller) Laboratorios Hersol®, Ricino (*Ricinus communis* L.) Laboratorio OTCO y Almendra (*Prunus dulcis*) ARBOLAPP Canarias a dos concentraciones de pureza del aceite del 20 % y 40 %. Se utilizó un dispersante 0,1 % de Tween 80 para separar y dispersar los micelios en agua, se hicieron diluciones en serie en agua destilada más 0,1 % de Tween hasta alcanzar una concentración de 1×10^7 conidios/insecto. Con una micropipeta de 10-100 µL (Pipet-Lite XLS), se colocaron concentraciones de 20/40 vol-% de emulsiones de aceite vegetal en una placa Petri de vidrio (55 mm de diámetro). A continuación, se añadió a las placas Petri de vidrio un volumen de 0,5 mL de la suspensión acuosa que contenía 1×10^7 conidios y ambos líquidos se mezclaron con un agitador magnético durante 3 minutos. Los conidios obtenidos se contaron en una cámara de Neubauer, se trabajó con una concentración de 1×10^7 conidios/2 mL quedando para emulsión al 20 % (400 µL de aceite de *P. americana* + 1600 µL de H. entomopatógeno + Agua destilada (A.D.)). La emulsión al 40 % (800 µL de aceite de *P. americana* + 1200 µL de H. entomopatógeno + A.D.).

Bioensayo de la eficacia de conidios de *Beauveria bassiana* y *Metarhizium robertsii* suspendidos en emulsiones oleosas sobre adultos de *S. aloeus* en condiciones de laboratorio.

Los adultos de *S. aloeus* se colocaron individualmente en botes de plástico de 300 mL de capacidad con un trozo de agave como alimento, tres días después se aplicó (aspersor con un atomizador) la emulsión de aceite sobre los insectos y el alimento (Tabla 2). Se trabajó con 15 tratamientos y un control con 10 repeticiones por tratamiento. Se realizaron observaciones cada 24 horas hasta obtener el 100 % de mortalidad de los escarabajos, los insectos muertos se ponen en cámaras húmedas para determinar la mortalidad real. Se realizaron pruebas de necropsia a estos insectos, comprobando la existencia de hongos en su interior (Stock, 1997). Los resultados de eficacia en porcentaje se transformaron mediante la función arcoseno y posteriormente se realizó un análisis de la varianza y se establecieron las diferencias entre las medias a través de la prueba de Tukey con el programa estadístico Statistical Analysis System (SAS, 2017).

Tabla 2. Evaluados de hongos entomopatógenos en emulsiones de aceites sobre adultos de *S. aloeus*.

| Tratamiento | H. entomopatógeno 1×10^7 conidios/insecto | Aceites % |
|-------------|--|-----------|
| T1 | <i>B. bassiana</i> + <i>P. americana</i> | 20 |
| T2 | <i>B. bassiana</i> + <i>P. americana</i> | 40 |
| T3 | <i>B. bassiana</i> + <i>R. communis</i> | 20 |
| T4 | <i>B. bassiana</i> + <i>R. communis</i> | 40 |
| T5 | <i>B. bassiana</i> + <i>P. dulcis</i> | 20 |
| T6 | <i>B. bassiana</i> + <i>P. dulcis</i> | 40 |
| T7 | <i>M. robertsii</i> + <i>P. americana</i> | 20 |
| T8 | <i>M. robertsii</i> + <i>P. americana</i> | 40 |
| T9 | <i>M. robertsii</i> + <i>R. communis</i> | 20 |
| T10 | <i>M. robertsii</i> + <i>R. communis</i> | 40 |
| T11 | <i>M. robertsii</i> + <i>P. dulcis</i> | 20 |
| T12 | <i>M. robertsii</i> + <i>P. dulcis</i> | 40 |
| T13 | <i>P. americana</i> | 30 |
| T14 | <i>R. communis</i> | 30 |
| T15 | <i>P. dulcis</i> | 30 |
| T16 | Control A. D | |

Resultados y discusión

Daños causados por *Strategus aloeus* en agave

Se encontró que para *A. potatorum* el porcentaje de daño causado por *S. aloeus* fue de 79,90 %, la categoría 3 presentó la mayor incidencia de daño con 25,88 % y las categorías con menor incidencia fueron las categorías 4 y 5 con 8,23 % y 5,88 % respectivamente; los porcentajes de plantas sanas de este agave fueron del 20 % y se encontró que existen diferencias estadísticas entre los grados de afectación 1 (plantas sanas) by los grados de afectación 2, 3, 4, 5 (Tabla 3). Para *A. angustifolia* se presentó un 65,86 % de daño, nuevamente la

categoría 5 mostró la mayor incidencia de daños con 27,05 % y las categorías con menor incidencia fueron las categorías 2 y 3 con 12,94 % y 10,58 %. Una vez más, para este agave, la categoría 1 fue estadísticamente diferente de las categorías de daños 2, 3, 4 y 5.

El análisis de correlación indicó, que para *A. angustifolia* y *A. potatorum*, existe una relación directa entre el grado de daño de la planta y la profundidad del daño causado por el adulto de *S. aloeus* ($r = 0,978$ y $r = 0,972$), respectivamente ($p < 0,05$). Los resultados de esta investigación corroboran la importancia de conocer los daños causados por *S. aloeus* en plantas de agave, así como la necesidad de su manejo y control.

Tabla 3. Daños encontrados en *A. potatorum* y *A. angustifolia* en 170 plantas de agave por grado de afectación

| Grado de afectación | Número de plantas | <i>A. potatorum</i> | Número de plantas | <i>A. angustifolia</i> |
|---------------------|-------------------|---------------------|-------------------|------------------------|
| 1 | 17 | 20 a* | 29 | 34,11 a |
| 2 | 34 | 40 b | 11 | 12,94 b |
| 3 | 22 | 25,88 c | 9 | 10,58 bc |
| 4 | 7 | 8,23 d | 13 | 15,29 cd |
| 5 | 5 | 5,88 d | 23 | 27,05 d |

* Valores con letras diferentes en las columnas indican una diferencia significativa para la prueba de Tukey (P 0,05).

Pérdidas encontradas en *A. angustifolia* y *A. potatorum*

Se encontró que para *A. angustifolia* y *A. potatorum* existe una relación directa entre el grado de afectación de la planta con el peso promedio, las plantas con grados de afectación 4 y 5 presentaron los menores pesos y son estadísticamente diferentes a las plantas con los grados de afectación 1, 2, 3 (Figura 1). Se resalta que en 85 plantas de *A. angustifolia* con grados de afectación 4 y 5 se presentaron pérdidas de 1794,9 y 2227,5 g/planta con respecto a las plantas sanas de *A. angustifolia*. Para las plantas de *A. potatorum* con grados de afectación 4 y 5 las pérdidas fueron de 1631,9 y 2119,7 g/planta respecto a plantas sanas (Tabla 4). Se puede observar que las

pérdidas son del 83,28 % en agaves *A. potatorum* y de 82,50 % en *A. angustifolia* con respecto a las plantas sanas.

El análisis de correlación indicó que para *A. angustifolia* y *A. potatorum*, hay una relación directa entre el grado de afectación de la planta y el peso ($r = 0,735$ y $r = 0,848$), respectivamente ($p < 0,05$). Las plantas de agave con un grado de afectación 5 presentaron mayor longitud en las galerías encontradas. Estos resultados muestran por primera vez la relación entre el daño, las pérdidas y la presencia de adultos de *S. aloeus* y confirman el complejo causado por este insecto en plantas de Agave.

Tabla 4. Pérdidas encontradas en *A. potatorum* y *A. angustifolia* en 170 plantas por grados de afectación

| Grado de afectación | <i>A. potatorum</i> (g/planta) | <i>A. angustifolia</i> (g/planta) |
|---------------------|--------------------------------|-----------------------------------|
| 1 | 2545,0 a | 2699,7 a |
| 2 | 2125,7 b | 2199,3 b |
| 3 | 1242,0 c | 1440,9 bc |
| 4 | 913,1 d | 904,8 cd |
| 5 | 425,3 d | 472,2 d |

* Valores con letras diferentes en las columnas indican una diferencia significativa para la prueba de Tukey (P 0,05).

Actualmente no existen datos comparativos sobre daños y pérdidas causados por el adulto de *S. aloeus* en especies del género *Agave*, trabajos como el realizado por Ahumada et al. (1995) describen en la palma aceitera (*Elaeis guineensis*) que el adulto de *S. aloeus* durante la noche perfora el suelo en la base y construye una galería vertical de 30-40 cm donde permanece durante el día. Sanabria-García et al. (2012) mencionaron que *S. aloeus* ha sido registrada como plaga de algodón, mango, caña de azúcar, palma de coco, y palma africana. Pardo-Locarno et al. (2012) mencionaron a *S. aloeus* como plaga en los cultivos de maíz y de la yuca, pero no se conoce su importancia en el cultivo de la caña de azúcar.



Figura 1. Plantas de *A. potatorum* con un grado de afectación 5.

En el cultivo de agave, Aquino Bolaños et al. (2007), indicaron una relación similar entre el grado de daño causado por el picudo del agave *Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhaal (Coleoptera: Curculionidae) en piñas maduras de agave *A. angustifolia* y *A. tequilana*. Por otro lado, Bravo (2003), reportó pérdidas que van del 1,4 % al 26 % causadas por *S. acupunctatus* en *A. angustifolia* en Oaxaca, México. Halfter (1957) y Ramírez (1993) determinaron pérdidas de rendimiento del 40 % en henequén *Agave fourcroydes* Lem. (Asparagaceae) en Yucatán, México.

Efectividad de hongos entomopatógenos en emulsiones de aceites en adultos de *S. aloeus* en condiciones de laboratorio

A las 24 horas, cuatro tratamientos tuvieron una respuesta y eficacia del 85,71 % (T2 = *B. bassiana* + *P. americana* 40 %), (T6 = *B. bassiana* + *P. dulcis* 40 %), (T8 = *M. robertsii* + *P.*

americana 40 %) y (T12 = *M. robertsii* + *P. dulcis* 40 %). Cabe señalar que en los cuatro tratamientos las concentraciones de aceite fueron del 40 %, estos tratamientos son estadísticamente diferentes del resto de los tratamientos. Al mismo tiempo, los aceites de *P. americana*, *P. dulcis* y *R. communis*, todos al 20 %, no mostraron mortalidad en los adultos de *S. aloeus*. A las 48 horas, sólo dos tratamientos mostraron una eficacia del 100 % (T2 = *B. bassiana* + *P. americana* 40 %) y (T6 = *B. bassiana* + *P. dulcis* 40 %), estos tratamientos fueron estadísticamente diferentes de los demás. Los aceites necesitaron 120 horas para presentar porcentajes de mortalidad del 71,4 % - 100 % en adultos de *S. aloeus*. Los aceites aplicados solos *P. americana*, *P. dulcis* y *R. communis* necesitaron 160 horas para presentar porcentajes del 28,5 % al 42,8 %, que se consideran bajos, a este mismo tiempo el testigo no presentó ningún efecto en adultos de *S. aloeus* (Tabla 5).

Tabla 5. Mortandad de adultos de *S. aloeus* con *B. bassiana*, *M. robertsii* en emulsiones de aceites en laboratorio.

| Trat (%) | (%) | 24 h | 48 h | 72 h | 96 h | 120 h | 144 h | 160 h |
|------------------------|-----|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 1 <i>A. b</i> + Pa | 20 | 0 e | 42,8 cd | 71,4 bc | 71,4 bc | 85,7 b | 85,7 b | 100 a |
| 2 <i>B. b</i> + Pa | 40 | 85,7 a | 100 a | 100 a | 100 a | 100 a | 100 a | 100 a |
| 3 <i>B. b</i> + Rc | 20 | 0 e | 28,5 d | 71,4 bc | 85,7 bc | 85,7 b | 100 a | 100 a |
| 4 <i>B. b</i> + Rc | 40 | 0 e | 28,5 d | 57,1c | 57,1 c | 71,4 bc | 71,4 bc | 100 a |
| 5 <i>B. b</i> + Pd | 20 | 28,5 d | 71,4 bc | 85,7 ab | 85,7 ab | 85,7 b | 85,7 b | 100 a |
| 6 <i>B. b</i> + Pd | 40 | 85,7 a | 100 a | 100 a | 100 a | 100 a | 100 a | 100 a |
| 7 <i>M. r</i> + Pa | 20 | 0 e | 0 e | 28,5 d | 28,5 d | 71,4 bc | 71,4 bc | 71,4 bc |
| 8 <i>M. r</i> + Pa | 40 | 85,7 a | 85,7 b | 85,7 ab | 85,7 b | 85,7 b | 100 a | 100 a |
| 9 <i>M. r</i> + Rc | 20 | 0 e | 28,5 d | 71,4 bc | 71,4 bc | 71,4 bc | 71,4 bc | 71,4 bc |
| 10 <i>M. r</i> + Rc | 40 | 0 e | 0 e | 28,5 d | 28,5 d | 71,4 bc | 71,4 bc | 71,4 bc |
| 11 <i>M. r</i> + Pd | 20 | 0 e | 0 e | 42,8 cd | 42,8 cd | 71,4 bc | 71,4 bc | 85,7 b |
| 12 <i>M. r</i> + Pd | 40 | 85,7 a | 85,7 b | 85,7 b | 85,7 b | 85,7 b | 85,7 b | 85,7 b |
| 13 <i>P. americana</i> | - | 3 0 e | 0 e | 0 e | 0 e | 0 e | 0 e | 28,5 d |
| 14 <i>R. communis</i> | - | 3 0 e | 0 e | 0 e | 0 e | 0 e | 0 e | 0 e |
| 15 <i>P. dulcis</i> | - | 3 0 e | 0 e | 0 e | 0 e | 0 e | 0 e | 42,8 cd |
| 16 A. D | - | 0 e | 0 e | 0 e | 0 e | 0 e | 0 e | 0 e |

* Valores con letras diferentes en las columnas indican una diferencia significativa para la prueba de Tukey (P 0,05).

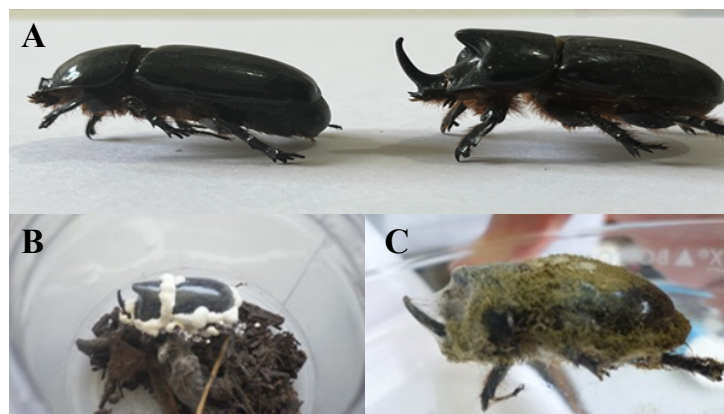


Figura 2. A. Hembra y macho de *S. aloeus*. B. Crecimiento del hongo *B. bassiana* sobre un macho adulto de *S. aloeus*. C. Crecimiento de *M. robertsii* sobre un macho adulto de *S. aloeus*.

El crecimiento de micelio encontrado en los cadáveres de adultos en *S. aloeus* a causa de los tratamientos con hongos entomopatógenos (*B. bassiana* y *M. robertsii*) en emulsiones de aceites se pueden visualizar en la Figura 2.

Actualmente existen pocas referencias sobre el manejo y efectividad de hongos con aceites sobre adultos de *S. aloeus*, autores como Navarro y Ávila (2017) utilizaron aceite de aguacate para probar la efectividad de nematodos entomopatógenos para el control del picudo del agave *S. acupunctatus*, obteniendo 100 % de efectividad a las 120 horas. Morales de León et al. (2014) quienes trabajaron con *B. bassiana* combinado con aceite de girasol para el control de la broca del café, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Curculionidae), reportaron un 100 % de mortalidad a las 120 horas. Acuña et al. (2015) trabajaron con el hongo *M. robertsii* para el control del gusano de la fruta *Chloridea virescens* (Fabricius) (Lepidoptera: Noctuidae) reportando un 100 % de mortalidad. Ahedo-Quero (2019) trabajó con el picudo del agave (*S. acupunctatus*) a base de formulaciones de aceites, y encontró que a las 72 horas hubo una efectividad del 100 % con el hongo *B. bassiana* + aceite de *P. americana* al 40 %. Es necesario evaluar la compatibilidad de aceites y agentes de control biológico (hongos y nematodos entomopatógenos) para saber si existen efectos sinérgicos, como mejorar la patogenicidad, evitar la desecación o mejorar la supervivencia (Monteiro et al., 2014; Shapiro et al., 1985).

Conclusiones

Se encontró que para las especies *A. angustifolia* y *A. potato* existe una relación directa entre el grado de afectación de la planta, la profundidad de los daños y las pérdidas causadas por *S. aloeus*, además los conidios de los hongos *Beauveria bassiana* y *Metarhizium robertsii* demostraron ser patógenos ya que sólo se necesitaron 48 h para tener un control del 100 % en adultos de *S. aloeus* con los tratamientos *B. bassiana* + *P. americana* 40 % y *B. bassiana* + *P. dulcis* 40 % en laboratorio. Y la formulación fúngica servirá como una alternativa más amigable con el ambiente para el control de adultos de *S. aloeus*.

Literatura citada

- Ahumada, M. L., Calvache, H., Cruz, M. A., & Luque, J. E. (1995). *Strategus aloeus* (L.) (Coleoptera: Scarabaeidae): biología y comportamiento en Puerto Wilches (Santander). *Palmas*, 16(3), 9-16. <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/476>
- Ahedo-Quero, H. O. (2019). Nematodos entomopatógenos asociados a aceites vegetales para el manejo del adulto de (*Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhal) en *Agave* sp. [Tesis de Maestría, Instituto Politécnico Nacional, Oaxaca, México]. http://148.204.117.30/jspui/handle/LITER_CIIDIROAX/413
- Acuña Jiménez, M., García Gutiérrez, C., Rosas García, N. M., López Meyer, M., & Saínz Hernández, J. C. (2015). Formulation of *Metarhizium anisopliae* (Metschnikoff) Sorokin with biodegradable polymers and their virulence against *Heliothis virescens* (Fabricius). *Revista. Internacional de Contaminación Ambiental*, 31(3), 219-226. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=37041042001>
- Aquino López, T. (2020). *Nocividad de Strategus aloeus L. en dos especies de Agave y su manejo a base de hongos entomopatógenos asociados en aceites* [Tesis de maestría, Instituto Politécnico Nacional, Unidad Oaxaca]. http://literatura.ciidiroax.ipn.mx:8080/xmliui/handle/LITER_CIIDIROAX/499
- Aquino Bolaños, T., Iparraguirre, M., & Ruiz, J. (2007). *Scyphophorus acupunctatus* (= *interstitialis*) Gyllenhal (Coleoptera: Curculionidae). Plaga del Agave mezcalero: Pérdidas y daños en Oaxaca, México. *Revista Científica UDO Agrícola*, 7(1), 175-180. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2550669>
- Bravo, M. E. (2003). Sugerencias para el manejo integrado del picudo del maguey mezcalero (*Scyphophorus interstitialis* Gyllenhal). INIFAP. Folleto. No 4. Santo Domingo Barrio Bajo, Etla, Oaxaca, pp. 10-15.
- Comité Estatal de Sanidad Vegetal (CESAVEG). (2008). Manual de plagas y enfermedades del Agave. *Comité Estatal de Sanidad Vegetal Guanajuato A.C.* México.
- Davidson, N., Dibble, J. E., Flint, M. L., Marer, P. J., & Guye, A. (Eds.). (1991). *Managing insects and mites with Spray oils*. IPM Education and Publications. Division of Agriculture and Natural Resources, Publication 3347. https://ipm.ucanr.edu/legacy_assets/pdf/pmg/managing_insects-mites_with_spray_oils.pdf
- Feria, M., Hajek, A. E., & Wraight, S. P. (2009). Imbibitional damage in conidia of the entomopathogenic fungi *Beauveria bassiana*, *Metarhizium acridum*, and *Metarhizium anisopliae*. *Biological Control*, 51(3), 346-354. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2009.06.012>
- García, G. L., Ortega-Arenas, L., Hernández, H. G., García, A. A., Nápoles, J. R., & Cortés, R. R. (2009). Descripción de las larvas de tercer instar de Melolonthidae (Coleoptera) asociadas al cultivo de Agave *tequilana* var. Azul y su fluctuación poblacional en Jalisco, México. *Neotropical Entomology*, 38(6), 769-780. <https://doi.org/10.1590/S1519-566X2009000600010>
- Halffter, G. (1957). Plagas que afectan a distintas especies de agave cultivadas en México. *Dirección General de Defensa Agrícola*. SAG. México D. F., pp. 17-27.
- Malik K. A., & Hoffmann, P. (1993). Long-term preservation of yeast culture by liquid drying. *W. Journal of Microbiology and Biotechnology*. 9 (3) 372-376.
- Monteiro, C. M., Araújo, L. X., Gomes, G. A., Senra, T. O., Calmon F., Daemon, E., de Carvalho M. G., Bittencourt, V. R., Furlong, J., & Prata, M. C. (2014). Entomopathogenic nematodes associated with essential oil of *Lippia sidoides* for control of *Rhipicephalus microplus* (Acari: Ixodidae). *Parasitology Research*, 113(1), 189-95. <https://doi.org/10.1007/s00436-013-3643-5>
- Morales de León, A., Jarquín G. R., Gómez, R. J., Díaz, G. O., & Marín, S. J. (2014). Evaluación de un formulado de aceite vegetal de *Beauveria bassiana* en condiciones de laboratorio para el control de la broca del café. *Fitosanidad*, 18(1), 5-14. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=209131412001>
- Navarro, A. M., & Ávila, L. N. (2017). *Manejo de adultos del picudo del agave con organismos biológicos y su efecto en su viabilidad de producción*. [Tesis de Licenciatura en Ciencias Agropecuarias, Instituto Tecnológico de la Cuenca del Papaloapan, Oaxaca, México]. http://literatura.ciidiroax.ipn.mx/jspui/bitstream/LITER_CIIDIROAX/499/1/Aquino%20L%20C3%B3pez%2C%20T.%20%282020%29.pdf
- Pardo-Locarno, L. C., González, J. C., Pérez, C. R., Yepes, F., & Fernández, C. (2012). Escarabajos de importancia agrícola (Coleoptera: Melolonthidae) en la región Caribe colombiana: registros y propuestas de manejo. *Boletín del Museo Entomológico Francisco Luis Gallejo*, 4(4), 7-23.
- Patil, J., Rangasamy, V., & Lakshmi, L. (2017). Efficacy of entomopathogenic *Heterorhabditis* and *Steinernema* nematodes against the white grub, *Leucopholis lepidophora* Blanchard (Coleoptera: Scarabaeidae). *Crop Protection*, 101, 84-89. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2017.07.021>
- Püntener, W., & Zahner, O. (1981). *Manual para ensayos de campo en protección vegetal*. (Segunda edición ,pp. 14-20). CIBA-Geigy Editores.
- Ramirez, C. J. L. (1993). Max del anequén *Scyphophorus interstitialis* Gil. Bioecología y control. Serie: Libro Técnico. Centro

- de Investigación Regional del sureste. INIFAP- SARH Mérida Yucatán. México.
- Rodríguez, W. D., Navarrete-Heredia, J. L., Vasquez-Bolanos, M., Rodríguez, R., Briceño-Félix, G. A., Blanco, J. M. C., & Ruiz-Cancino, E. (2019). Insects associated with the genus *Agave* spp. (Asparagaceae) in Mexico. *Zootaxa*, 4612(4), 451-493. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.4612.4.1>
- Sanabria-García, R., Gasca-Álvarez, H., & Amat-García, G. (2012). Sinopsis de la tribu Oryctini (Coleoptera: Scarabaeidae: Dynastinae) de Colombia. *Insecta Mundi*, 0276, 1-64. <https://digitalcommons.unl.edu/insectamundi/789>
- SAGARPA. (2017). Planeación Agrícola Nacional 2017–2030, 1st ed. (pp. 1-20). Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA): México City, México. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/257066/Potencial_Agave_Tequilero_y_Mezcalero.pdf (consultado 11 de abril 2023).
- Servicio de Información Agroalimentario y Pesquera (SIAP). (2023). Anuario Estadístico de la Producción Agrícola de Agave en Oaxaca. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/> (consultado 11 de abril 2023).
- Silva, G. A., Lagunas, C., Rodríguez J., & Rodríguez, D. (2002). Insecticidas vegetales en una vieja y nueva alternativa en el manejo de plagas. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología*, (66), 4-12. A2008e.pdf (catie.ac.cr)
- Shapiro, M., McLane, W., & Bell, R. (1985). Laboratory evaluation of selected chemicals as antidesiccants for the protection of the entomogenous nematode, *Steinernema feltiae* (Rhabditiidae; Steinernematidae) against *Lymantria dispar* (Lepidoptera: Lymantriidae) *Journal of Economic Entomology*, 78(6), 1437-1444. <https://doi.org/10.1093/jee/78.6.1437>
- Statistical Analysis System (SAS). (2017). Statistical Analysis System a los métodos estadísticos. /SAT user's guide. (Versión 6.4). SAS Institute, Cary, NC, USA.
- Stock, H. K. (1997). Techniques in insect nematology. En L. Lacey, *Manual of techniques in insect pathology*, pp. 282-344.
- Terán-Vargas, A. P., Azuara-Domínguez, A., Vega-Aquino, P., Zambrano-Gutiérrez, J., & Blanco-Montero, C. (2012). Efectividad biológica de insecticidas para el control del gorgojo del agave, *Scyphphorus acupunctatus* Gyllenhal (Coleoptera; Curculionidae), en México. *Southwestern Entomologist*, 37(1), 47-53. <https://doi.org/10.3958/059.037.0106>
- Vázquez, M. L. (2003). Manejo integrado de plagas. Instituto de Investigaciones de Sanidad Vegetal (INISAV) Ciudad de la Habana, Cuba. pp. 220-229.
- Villavicencio-Nieto, M. Á., Pérez-Escandón, B. E., & Gordillo-Martínez, A. J. (2010). Plantas tradicionalmente usadas como plaguicidas en el estado de Hidalgo, México. *Polibotánica*, 30, 93-238. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-27682010000200012&script=sci_abstract
- Zitter, A. I., & Simons, N. J. (1980). Management of viruses by alteration of vector efficiency and by cultural practices. *Annual Review of Phytopathology*, 18, 289-310. <https://doi.org/10.1146/annurev.py.18.090180.001445>

Origen y Financiación

El proyecto no tuvo financiación externa.

Contribución de los autores

Todos los autores contribuyeron por igual en la redacción del manuscrito. Todos los autores revisaron críticamente el manuscrito y aprobaron la versión final.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses. Los patrocinadores fundadores no tuvieron ningún papel en el diseño del estudio; en el análisis o interpretación de los datos, en la redacción del manuscrito y en la decisión de publicar los resultados.