



Eficacia del aceite esencial de ruda (*Ruta graveolens*) y el ácido oxálico en el control de varroasis*

Efficacy of rue (*Ruta graveolens*) essential oil and oxalic acid in the control of varroasis

Patricia Núñez¹, Jennifer Lozada¹, Roberto Almeida¹, Carlos Vásquez¹, Ricardo Guerrero¹,
Paulina Amaluisa Rendón²

* Recepción: 5 de febrero, 2025. Aceptación: 15 de mayo, 2025. Este trabajo formó parte de una tesis desarrollada por la segunda autora en la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Técnica de Ambato.

¹ Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ciencias Agropecuarias. Cevallos, Tungurahua, Ecuador. op.nunez@uta.edu.ec (autor para correspondencia; <https://orcid.org/0000-0001-9593-5850>), jlozada5914@uta.edu.ec (<https://orcid.org/0009-0009-8678-7492>); ri.almeida@uta.edu.ec (<https://orcid.org/0000-0002-4893-959X>); ca.vasquez@uta.edu.ec (<https://orcid.org/0000-0002-8214-3632>); jr.guerrero@uta.edu.ec (<https://orcid.org/0000-0002-4943-9917>).

² Universidad Indoamérica. Ambato, Tungurahua, Ecuador. paulinaamaluisa@indoamerica.edu.ec (<https://orcid.org/0000-0003-0454-4032>).

Resumen

Introducción. *Varroa destructor* es una de las principales causas de mortalidad en colonias de *Apis mellifera*, lo que exige constantes medidas de control. **Objetivo.** Evaluar la eficacia del uso de aceite esencial de ruda (*Ruta graveolens*) y ácido oxálico en el control de *Varroa destructor* en abejas (*Apis mellifera*). **Materiales y métodos.** El estudio fue realizado en apiarios comerciales ubicados en dos localidades de la ciudad de Ambato, Tungurahua, Ecuador, de abril a mayo de 2023. Se aplicó ácido oxálico (5 y 10 g) por sublimación y aceite esencial de ruda (10 y 15 %) en tiras impregnadas, y se usó un tratamiento testigo (sin aplicaciones). Cada tratamiento se aplicó tres veces con intervalos de ocho días. Se evaluó la mortalidad del ácaro y la eficacia de los productos a las 96 h después de la aplicación. Se usó un diseño completamente aleatorizado. **Resultados.** La mayor tasa de mortalidad del ácaro se obtuvo con el uso de ácido oxálico, y esta incrementó con la dosis y el tiempo de exposición. Al final del periodo de evaluación, la aplicación de ácido oxálico (5 y 10 g) redujo la infestación por *V. destructor* en un 84,9 y 92,3 %, respectivamente. Con el aceite esencial de ruda (10 y 15 %) se alcanzó un control del 68,0 y 76,5 % de mortalidad, respectivamente. La eficacia de control aumentó con el tiempo, especialmente en los tratamientos con ácido oxálico sublimado. **Conclusiones.** El ácido oxálico y el aceite esencial de ruda podrían constituir una alternativa viable para su inclusión en un programa de manejo integrado de *V. destructor* en producciones apícolas.

Palabras clave: abejas, ácaro, *Varroa destructor*, apicultura, manejo sustentable.

Abstract

Introduction. *Varroa destructor* is one of the main causes of mortality in *Apis mellifera* colonies, which requires constant control measures. **Objective.** To evaluate the efficacy of rue (*Ruta graveolens*) essential oil and oxalic acid in controlling *Varroa destructor* in honey bees (*Apis mellifera*). **Materials and methods.** The study was conducted in



Agronomía Mesoamericana es desarrollada en la Universidad de Costa Rica bajo una licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional. Para más información escriba a pccmca@ucr.ac.cr o pccmca@gmail.com

commercial apiaries located in two areas of Ambato, Tungurahua, Ecuador, from April to May 2023. Oxalic acid (5 and 10 g) was applied by sublimation, and rue essential oil (10 and 15 %) was applied on impregnated strips; a control treatment (without applications) was also included. Each treatment was applied three times at eight-day intervals. Mite mortality and product efficacy were evaluated 96 h after application. A completely randomized design was used.

Results. The highest mite mortality was obtained with oxalic acid, and it increased with dose and exposure time. At the end of the evaluation period, oxalic acid (5 and 10 g) reduced *V. destructor* infestation by 84.9 y 92.3 %, respectively. Rue essential oil (10 and 15 %) caused 68.0 and 76.5 % mortality, respectively. Control efficacy increased over time, especially in treatments with sublimated oxalic acid. **Conclusion.** Oxalic acid and rue essential oil could be a viable alternative for inclusion in an integrated management program for *V. destructor* in beekeeping.

Keywords: bees, mites, *Varroa destructor*, apiculture, sustainable management.

Introducción

Dentro de la familia Apidae, las especies de Apinae muestran una mayor adaptabilidad que les confiere presencia cosmopolita; principalmente *Apis mellifera* L., que está ampliamente distribuida en Europa, Medio Oriente y África. En esta especie pueden reconocerse veintinueve subespecies con diferencias morfológicas y genéticas, definidas en ecotipos de clima tropical y templado (Masaquiza et al., 2020). Su migración natural ha permitido la selección de rasgos que aumentan su adaptabilidad en distintas áreas geográficas, y su domesticación ha facilitado la selección de rasgos que mejoran la productividad y la supervivencia bajo condiciones locales (Parker et al., 2010). Esto ha convertido a *A. mellifera* en uno de los agentes polinizadores más importantes a nivel mundial (Caron & Connor, 2013).

En las últimas décadas, ha existido un creciente interés por investigar las causas de la disminución de las colonias de abejas melíferas a escala global; entre ellas destacan la pérdida del hábitat, los plaguicidas y, en especial, los problemas de la salud ocasionados por patógenos y parásitos (Frazier et al., 2024). Existe una serie de agentes biológicos que pueden afectar la cría de abejas; uno de ellos es el virus del ala deformada, que es una enfermedad viral de gran relevancia en abejas. Esta, junto con el ácaro *Varroa destructor*, constituyen dos de las principales causas de mortalidad y destrucción de colonias en *Apis mellifera* (Doublet et al., 2024; Jobart et al., 2024).

El ácaro *V. destructor* es un parásito obligado que completa su ciclo biológico sobre las fases inmaduras mientras se alimenta de los tejidos grasos, lo que reduce la masa corporal del insecto, induce immunosupresión, facilita la propagación de virus y puede disminuir la esperanza de vida (Frazier et al., 2024; Jobart et al., 2024; Ramsey et al., 2019). Este ácaro ha sido señalado como uno de los principales desencadenantes del trastorno de colapso de colonias (CCD, por sus siglas en inglés), un fenómeno caracterizado por la desaparición repentina de la mayoría de las abejas obreras adultas de una colmena (Morfin et al., 2023) con niveles variables sobre las pérdidas de las colmenas a escala mundial.

En Nueva Zelanda, los apicultores han reportado un aumento significativo en la tasa de pérdida de colonias, que pasó del 8,37 al 13,59 % entre 2015 y 2021. Este se ha atribuido principalmente a la infestación por *V. destructor* (Stahlmann-Brown et al., 2022). Además, se han registrado grandes pérdidas en México (27,65 %), Eslovenia (28,9 %), España (36 %) y Estados Unidos (51 %) (Bruckner et al., 2023; Gray et al., 2023; Medina-Flores et al., 2021).

El control de *V. destructor* se ha basado tradicionalmente en el uso de métodos físicos y en la aplicación de productos químicos (amitraz, fluvalinato, aceite de lúpulo, ácido oxálico, ácido fórmico y timol), los cuales han mostrado ciertos niveles de control. No obstante, su eficacia es variable debido a que el uso continuo puede promover

la aparición de individuos resistentes a las moléculas químicas (Mitton et al., 2022). A esto se suma la persistencia de residuos en los productos apícolas, lo que provoca importantes pérdidas económicas (Bubnič et al., 2024).

Ante las dificultades derivadas del uso de acaricidas químicos, algunas investigaciones han evaluado el uso de acaricidas botánicos, tales como los extractos etanólicos de *Ocimum basilicum*, *Vitex negundo*, *Cymbopogon citratus* ($CL_{50} = 27,7\%$) y *Gliricidia sepium*, los cuales han mostrado resultados prometedores para el control de *V. destructor* (Tabafunda et al., 2023). Por su parte, los aceites esenciales de *Allium sativum*, *Eucalyptus globulus* y *Calpurnia aurea* al 50 % causaron 100 % de mortalidad en *V. destructor* 24 horas después de las aplicaciones (Kebebe et al., 2022). También se han logrado niveles de control de varroasis entre 80 y 100 % con el uso de aceite esencial de ruda (*Ruta graveolens*) (Balcázar Chamba, 2016; Jumbo Benítez et al., 2019).

En Ecuador, la productividad apícola muestra variaciones entre 10,2 y 15,5 kg de miel por colmena al año, asociadas con diferentes factores, incluido el ataque de ectoparásitos como *V. destructor* (Masaquiza-Moposita et al., 2023). Con base en estos resultados, el uso de bioplaguicidas puede ser una opción para el combate de varroasis en poblaciones de *A. mellifera*. Por lo tanto, el objetivo de esta investigación fue evaluar la eficacia del uso de aceite esencial de ruda (*Ruta graveolens*) y ácido oxálico en el control de *V. destructor* en abejas (*Apis mellifera*).

Materiales y métodos

El estudio fue llevado a cabo en apiarios comerciales ubicados en La Península ($1^{\circ}14'43.5''\text{S}, 78^{\circ}36'31.4''\text{O}$) y en Atahualpa ($1^{\circ}12'55.6''\text{S}, 78^{\circ}35'48.8''\text{O}$), en el cantón Ambato, Tungurahua, Ecuador. La zona se localiza a 2580 m s. n. m., presenta temperaturas entre 10° y 25°C , con un promedio anual de 15°C , y registra una precipitación promedio anual de 140 mm (Honorable Gobierno Provincial de Tungurahua, s. f.).

Se evaluó el efecto de dos concentraciones de ácido oxálico (5 y 10 g) y de aceite esencial de ruda (10 y 15 %) sobre el control de *V. destructor*. En cada apiario se seleccionaron seis colmenas por tratamiento. Se incluyó un grupo testigo, al cual no se aplicó ningún tratamiento.

El aceite esencial de ruda se obtuvo mediante destilación por arrastre con vapor, que permite separar los compuestos volátiles de la materia vegetal sin necesidad de alcanzar altas temperaturas que podrían afectarlos (Balcázar Chamba, 2016). Este método se utiliza principalmente para extraer aceites esenciales de plantas aromáticas. El equipo consta de un generador de vapor, una cámara de destilación, un condensador donde se enfriá el vapor de la cámara para convertirlo de nuevo en líquido y un decantador o recipiente recolector que separa el aceite esencial de los hidrolatos (Diawati et al., 2017). Se recolectaron plantas sanas de ruda de las cuales se seleccionaron hojas sin síntomas de daño por plagas o enfermedades. Se pesaron 500 y 750 g de hojas que se colocaron dentro del equipo junto con 5 L de agua destilada para obtener concentraciones de 10 y 15 % de aceite esencial, respectivamente.

Previo a las aplicaciones, se evaluó el porcentaje de infestación por *V. destructor*, por medio de la metodología de “lavado de abejas” (De Jong et al., 1982). Para ello, se recolectaron 200 abejas y se colocaron en un frasco con alcohol al 70 %, el cual se agitó durante 1 min y luego se filtró a través de dos mallas: una gruesa para separar a las abejas y otra fina para atrapar a los ácaros (Polo Corro et al., 2022). El porcentaje de infestación se calculó mediante la ecuación 1.

$$\text{Infestación (\%)} = \frac{N. \text{º de ácaros}}{N. \text{º de abejas}} \times 100 \quad [1]$$

El porcentaje de infestación se calculó dividiendo el número de individuos de *V. destructor* encontrados en las 200 abejas muestreadas. Los tratamientos se aplicaron cuando el porcentaje de infestación alcanzó el umbral

económico de 5 % (Polo Corro et al., 2022; Whitehouse et al., 2025). Este procedimiento se llevó a cabo cuatro días antes de las aplicaciones.

El aceite esencial de ruda se aplicó usando bandas de cartón-piedra (4 cm de ancho y 20 cm de largo). Estas se impregnaron con el aceite esencial y se dejaron en reposo durante 2 h para permitir una mejor absorción antes de colocarlas en las colmenas. Posteriormente, se ubicaron diez bandas en los cabezales de los cuadros en cada colmena para facilitar el contacto de las abejas (Minaya Mateo & Pérez González, 2022). Las bandas impregnadas fueron reemplazadas cada ocho días.

Cada tratamiento se aplicó tres veces, con un intervalo de ocho días entre cada aplicación. El número de ácaros muertos se registró a los 4, 12, 20 y 30 días. Para efectuar el conteo, en cada colmena se instaló una lámina fija de plástico recubierta con vaselina, destinada a atrapar los ácaros muertos, junto con una malla que impedía que las abejas entraran en contacto con los residuos (Koumad & Berkani, 2019).

El ácido oxálico se aplicó con un sublimador (X-nox) utilizando 5 o 10 g. Una vez que se alcanzó la sublimación (157-190 °C), se introdujo la boquilla del sublimador dentro de la piquera y se realizaron de 7 a 8 bocanadas de aire durante 5 s, con flujos suaves (Moyano Morocho, 2021). Se llevaron a cabo tres aplicaciones cada ocho días y el número de ácaros muertos se registró a los 4, 12, 20 y 30 días. Se colocó una malla para determinar el número de ácaros muertos y evitar que las abejas entraran en contacto con los residuos (Koumad & Berkani, 2019). La especie de ácaro se identificó usando la clave taxonómica proporcionada por el Identification Technology Program (2016), mientras que la especie de abeja se determinó por medio de los caracteres morfológicos descritos en Meixner et al. (2013). Finalmente, se calculó el porcentaje de efectividad en el control de la varroasis para cada tratamiento, en comparación con el testigo, mediante la ecuación 2.

$$\text{Eficacia (\%)} = \frac{(\text{Mortalidad en tratamiento} - \text{mortalidad en control})}{(100 - \text{mortalidad en control})} \times 100 \quad [2]$$

Se utilizó un diseño completamente al azar con cinco tratamientos: dos concentraciones de aceite esencial de ruda, dos concentraciones de ácido oxálico y un tratamiento testigo. Cada tratamiento consistió en seis repeticiones (colmenas). Previo al análisis estadístico, se comprobó el cumplimiento de los supuestos de normalidad, homocedasticidad y aditividad. Posteriormente, los datos fueron sometidos a análisis de varianza. Los valores que mostraron diferencias significativas fueron analizados mediante la prueba de medias de Tukey ($p < 0,05$) usando el programa estadístico InfoStat.

Resultados

Los tratamientos provocaron un efecto significativo en el manejo de *V. destructor* ($p = 0,0087$) (Figura 1). Según los muestreos iniciales, la infestación osciló entre 12,6 y 18,6 %. Tras la primera aplicación, las colmenas tratadas con 5 y 10 g de ácido oxálico registraron las mayores disminuciones de la incidencia de *V. destructor*: 57,0 y 64,7 %, respectivamente, en comparación con el testigo. Las concentraciones de aceite esencial de ruda mostraron efectos menores: la de 15 % redujo la infestación en 37,8 % y la de 10 % apenas en 17,8 % ($p < 0,001$).

Después de la segunda aplicación de los tratamientos, la infestación por *V. destructor* bajó un 72,5 % con el uso de 5 g de ácido oxálico y un 74,6 % con la concentración de 10 g. Con el aceite esencial de ruda al 10 y 15 %, la reducción fue de 26,1 y 49,1 %, respectivamente. Tras la tercera aplicación, la disminución alcanzó un 81,1 % con 5 g de ácido oxálico, y 83,2 % con 10 g; mientras que con aceite esencial de ruda las reducciones fueron

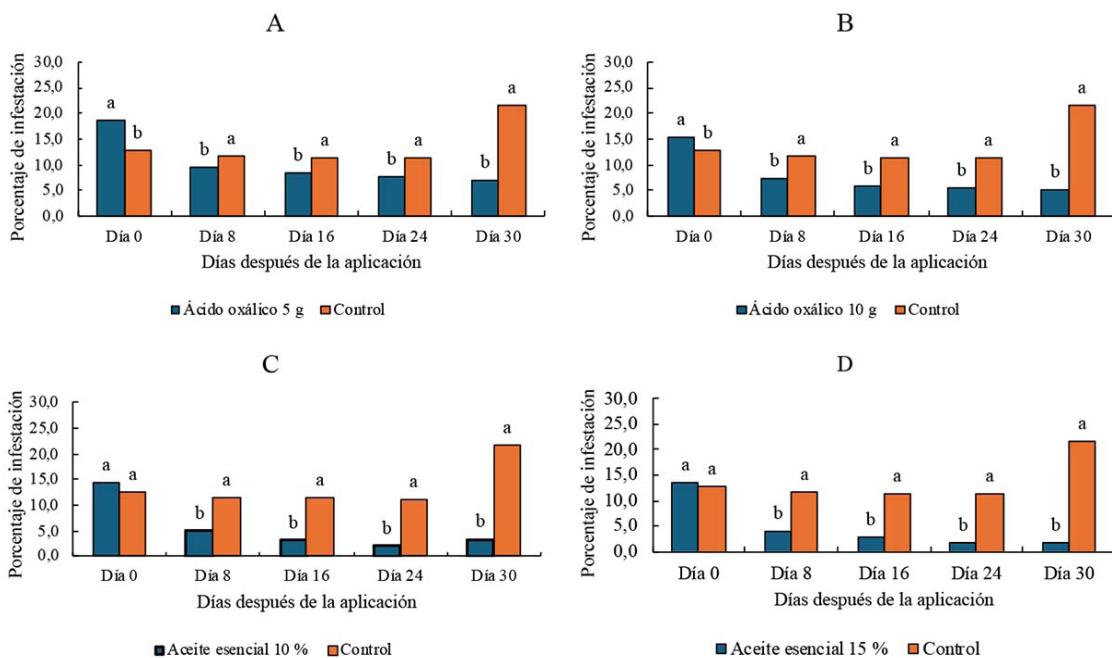


Figura 1. Variación del porcentaje de infestación de *Varroa destructor* en apiarios por efecto de la aplicación de ácido oxálico (A-B) y aceite esencial de ruda (C-D). Cantón Ambato, Ecuador, marzo-agosto 2023.

Figure 1. Variation in *Varroa destructor* infestation percentage in apiaries due to the application of oxalic acid (A-B) and rue essential oil (C-D). Ambato municipality, Ecuador, March to August 2023.

significativamente menores: 31,6 % para la concentración de 10 %, y 53,3 % para la de 15 %. Al final del periodo de evaluación, los tratamientos con 5 y 10 g de ácido oxálico disminuyeron la infestación por *V. destructor* en 84,9 y 92,3 %, respectivamente, y el aceite esencial de ruda al 10 % alcanzó una reducción de 68,0 %, mientras que la concentración de 15 % logró una disminución de 76,5 %.

Los tratamientos influyeron en la eficacia de control de *V. destructor*, la cual incrementó con el tiempo y fue significativamente mayor en los tratamientos con ácido oxálico sublimado (Cuadro 1). En las colmenas tratadas con 10 g de ácido oxálico, la eficacia varió desde 68,6 % tras la primera aplicación hasta 86,7 % al final del ensayo. Con 5 g de ácido oxálico, la eficacia inicial fue de 56,7 % y aumentó a 75,5 % en la última evaluación. Para el aceite esencial de ruda, la eficacia después de la primera aplicación fue de 30,8 y 41,0 % con las concentraciones de 10 y 15 %, respectivamente, valores que ascendieron a 43,8 y 58,7 % al final del ensayo.

Cuadro 1. Porcentaje medio de eficacia del ácido oxálico y el aceite esencial de ruda en el control de *Varroa destructor* en apiarios. Cantón Ambato, Ecuador, marzo-agosto 2023.

Table 1. Mean efficacy percentage of oxalic acid and rue essential oil in the control of *Varroa destructor* in apiaries. Ambato municipality, Ecuador, March to August 2023.

Tratamientos	Porcentaje de efectividad			
	8 días	16 días	24 días	30 días
Ácido oxálico 5 g	56,7 ± a	72,8 ± a	81,9 ±a	75,5 ±b
Ácido oxálico 10 g	68,6 ± a	74,8 ± a	85,5 ±a	86,7 ±a
Aceite esencial 10 %	30,8 ±c	26,8 ±c	44,9 ±c	43,8 ±d
Aceite esencial 15 %	41,0 ±b	49,5 ± b	57,2 ±b	58,7 ±c
Testigo	0,8 ± d	4,5 ±d	4,1 ±d	0,0 ±e
Error estándar	5,49	9,23	5,95	1,92
Valor <i>p</i>	0,0001	0,0012	<0,001	<0,0001

Los porcentajes promedio en la misma columna seguidos de la misma letra no difieren significativamente (Tukey, *p* > 0,05). / Mean percentages in the same column followed by the same letter do not differ significantly (Tukey, *p* > 0,05).

Discusión

La presente investigación demuestra que, aunque el ácido oxálico sigue siendo una de las herramientas más efectivas para el control de *V. destructor*, con tasas de control superiores al 86 %, la variabilidad de su eficacia en diferentes condiciones productivas evidencia la necesidad de realizar ajustes para su implementación. Factores como la sincronización del tratamiento en ausencia de cría operculada, el método de aplicación y la calidad de la formulación comercial son aspectos clave a considerar para optimizar su rendimiento (Egularas et al., 2003; Rademacher & Harz, 2006). La falta de estandarización en estos aspectos podría explicar las variaciones observadas entre distintos estudios.

Los resultados de eficacia obtenidos con el aceite esencial de ruda (44,9-57,2 %) fueron inferiores a los reportados por Jumbo Benítez et al. (2019), quienes alcanzaron valores entre 52,3 y 82,8 %. Estas diferencias podrían deberse a que las concentraciones utilizadas en esa investigación (40-50 %) fueron significativamente más altas que las aplicadas en este trabajo. Además, la eficacia de los aceites esenciales puede verse afectada por su composición química, la cual a su vez está influenciada por numerosos factores bióticos y abióticos (Alsaadi et al., 2024). La falta de la caracterización química de los aceites evaluados podría limitar la posibilidad de establecer comparaciones y dificultar el diseño de estrategias de control basadas en extractos botánicos.

Futuros estudios deberían no solo optimizar las concentraciones y los tiempos de exposición de los aceites esenciales, sino también incorporar análisis de componentes activos mediante técnicas cromatográficas estandarizadas. Asimismo, la exploración de formulaciones sinérgicas, combinando distintos tipos de aceites esenciales o con productos químicos de bajo impacto, podría representar una alternativa para incrementar la eficacia de los productos de origen natural, minimizar los riesgos de resistencia y favorecer el bienestar de las colonias de *Apis mellifera*.

Hasta la fecha, no existe evidencia sólida de que *V. destructor* haya desarrollado resistencia al ácido oxálico en los últimos 30 años, debido a que su uso ha mostrado valores superiores al 70 % o incluso al 90 %, de eficacia,

independientemente del método de aplicación (Kosch et al., 2024). Sin embargo, se requiere realizar monitoreos continuos bajo diferentes condiciones de estudio que permitan establecer pruebas concluyentes que descarten la aparición de resistencia. Así, aunque el ácido oxálico mantiene un rol central en el manejo de la plaga, es necesario avanzar hacia la evaluación y aplicación de métodos alternativos dentro de un plan de manejo integrado. En consecuencia, la aplicación de aceites esenciales surge como una alternativa sustentable para controlar poblaciones de *V. destructor* en apíarios, ya que podría retrasar la resistencia a los tratamientos convencionales y contribuir a un modelo de apicultura más sostenible.

Conclusiones

El ácido oxálico y el aceite esencial de ruda mostraron niveles de eficacia prometedores en el control de la varroasis, lo cual evidencia su potencial para ser incorporados en programas de manejo de apíarios en condiciones similares a las evaluadas en el cantón Ambato y reducir la dependencia de productos químicos convencionales. Durante el periodo de evaluación, no se observaron efectos adversos en la salud ni en el comportamiento de las poblaciones de abejas, lo que respalda la posibilidad de integrar estos tratamientos como alternativas seguras en sistemas de producción apícola. No obstante, resulta necesario realizar estudios que evalúen el impacto sobre la salud de las colonias a largo plazo, especialmente bajo condiciones de aplicación repetida o combinada.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Técnica de Ambato por el apoyo institucional brindado para la realización de esta investigación.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses.

Referencias

- Alsaadi, M., Keshlaf, M. M., & Mirwan, H. B. (2024). Some essential oils as potential control agents for varroa mite (*Varroa destructor*) in infected honey bees (*Apis mellifera*). *Open Veterinary Journal*, 14(2), 692–698. <https://doi.org/10.5455/OVJ.2024.v14.i2.9>
- Balcázar Chamba, M. (2016). *Elaboración de un acaricida natural a base de aceite esencial de ruda (*Ruta graveolens*) para el control de varroasis (*Varroa jacobsoni Oudemans*) en abejas (*Apis mellifera*) y su incidencia en la producción de miel en el barrio Landangui de la parroquia Malacatos del cantón Loja* [Tesis de grado, Universidad Nacional de Loja]. Repositorio Digital de la Universidad Nacional de Loja. <https://dspace.unl.edu.ec/items/9d60e77e-c41d-4c08-8df0-4655824a5f90>
- Bruckner, S., Wilson, M., Aurell, D., Rennich, K., vanEngelsdorp, D., Steinhauer, N., & Williams, G. R. (2023). A national survey of managed honey bee colony losses in the USA: results from the Bee Informed Partnership for 2017–18, 2018–19, and 2019–20. *Journal of Apicultural Research*, 62(3), 429–443. <https://doi.org/10.1080/00218839.2022.2158586>

- Bubnič, J., Prešern, J., Pietropaoli, M., Cersini, A., Moškrič, A., Formato, G., Manara, V., & Smodiš Škerl, M. I. (2024). Integrated pest management strategies to control varroa mites and their effect on viral loads in honey bee colonies. *Insects*, 15(2), Article 115. <https://doi.org/10.3390/insects15020115>
- Caron, D. M., & Connor, L. J. (2013). *Honey bee biology and beekeeping* (3rd ed.). Wicwas Press.
- De Jong, D., Morse, R. A., & Eickwort, G. C. (1982). Mite pests of honey bees. *Annual Review of Entomology*, 27(1), 229–252. <https://doi.org/10.1146/annurev.en.27.010182.001305>
- Diawati, C., Liliasari, Setiabudi, A., & Buchari. (2017). Students' construction of a simple steam distillation apparatus and development of creative thinking skills: a project-based learning. *AIP Conference Proceedings*, 1848(1), Article 030002. <https://doi.org/10.1063/1.4983934>
- Doublet, V., Oddie, M. A. Y., Mondet, F., Forsgren, E., Dahle, B., Furuseth-Hansen, E., Williams, G. R., De Smet, L., Natsopoulou, M. E., Murray, T. E., Semberg, E., Yañez, O., De Graaf, D. C., Le Conte, Y., Neumann, P., Rimstad, E., Paxton, R. J., & De Miranda, J. R. (2024). Shift in virus composition in honeybees (*Apis mellifera*) following worldwide invasion by the parasitic mite and virus vector *Varroa destructor*. *Royal Society Open Science*, 11(1), Article 231529. <https://doi.org/10.1098/rsos.231529>
- Eguaras, M., Palacio, M. A., Faverin, C., Basualdo, M., Del Hoyo, M. L., Velis, G., & Bedascarrasbure, E. (2003). Efficacy of formic acid in gel for Varroa control in *Apis mellifera* L.: Importance of the dispenser position inside the hive. *Veterinary Parasitology*, 111(2–3), 241–245. [https://doi.org/10.1016/S0304-4017\(02\)00377-1](https://doi.org/10.1016/S0304-4017(02)00377-1)
- Frazier, M., Muli, E., & Patch, H. (2024). Ecology and management of African honey bees (*Apis mellifera* L.). *Annual Review of Entomology*, 69, 439–453. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-020823-095359>
- Gray, A., Adjlane, N., Arab, A., Ballis, A., Brusbardis, V., Bugeja Douglas, A., Cadahía, L., Charrière, J.-D., Chlebo, R., Coffey, M. F., Cornelissen, B., Da Costa, C. A., Danneels, E., Danihlík, J., Dobrescu, C., Evans, G., Fedoriak, M., Forsythe, I., Gregorc, A., ... Brodschneider, R. (2023). Honey bee colony loss rates in 37 countries using the COLOSS survey for winter 2019–2020: the combined effects of operation size, migration and queen replacement. *Journal of Apicultural Research*, 62(2), 204–210. <https://doi.org/10.1080/00218839.2022.2113329>
- Honorable Gobierno Provincial de Tungurahua. (s. f.). *Red Hidrometeorológica de Tungurahua*. <https://hidrometeorologica.tungurahua.gob.ec/>
- Identification Technology Program. (2016). *Varroa* [Fact sheet]. https://idtools.org/bee_mite/index.cfm?packageID=1&entityID=158
- Jobart, B., Delatte, H., Lebreton, G., Cazanove, N., Esnault, O., Clémencet, J., & Blot, N. (2024). Parasite and virus dynamics in the honeybee *Apis mellifera unicolor* on a tropical island recently invaded by *Varroa destructor*. *Journal of Invertebrate Pathology*, 204, Article 108125. <https://doi.org/10.1016/j.jip.2024.108125>
- Jumbo Benítez, N. C., Fernández Guarnizo, P., Sisalima, R., & Balcázar, M. (2019). Elaboración de un acaricida natural a base de aceite esencial de *Ruta graveolens* para el control de varroasis (*Varroa jacobsoni* Oudemans) en abejas (*Apis mellifera*). *Revista del Colegio de Médicos Veterinarios del Estado Lara*, 17, 37–41.
- Kebebe, D., Gela, A., Damto, T., Gemedu, M., & Leggese, G. (2022). Evaluating the effect of plants extracts against varroa mites (*Varroa destructors*) of honeybees (*Apis mellifera*). *Chemistry and Materials Research*, 14(2), 26–30. <https://doi.org/10.7176/CMR/14-2-03>

- Kosch, Y., Mülling, C., & Emmerich, I. U. (2024). Resistance of *Varroa destructor* against oxalic acid treatment— A systematic review. *Veterinary Sciences*, 11(9), Article 393. <https://doi.org/10.3390/vetsci11090393>
- Koumad, I. I., & Berkani, J. O. (2019). Assessment of the efficacy of four medicinal plants as fumigants against *Varroa destructor* in Algeria. *Archivos de Zootecnia*, 68(262), 284-292. <https://doi.org/10.21071/az.v68i262.4148>
- Masaquiza, D., Curbelo Rodríguez, L. M., & Arenal, A. (2020). Africanización de la abeja melífera (*Apis mellifera* L.). Revisión de literatura. *Agrisost*, 26(2), 1–13.
- Masaquiza-Moposita, D. A., Martin, D., Zapata, J., Soldado, G., & Salas, D. (2023). Apicultura ecuatoriana: situación y perspectiva. *Tesla Revista Científica*, 3(2), Article e252. <https://doi.org/10.55204/trc.v3i2.e252>
- Medina-Flores, C. A., Macías-Macías, J. O., Rodríguez-Cárdenas, A., Saucedo-Rivera, A., Camacho-Vásquez, H., Carrillo-Muro, O., & López-Carlos, M. A. (2021). Pérdida de colonias de abejas melíferas y factores asociados en el centro-occidente de México en los inviernos del 2016 al 2019. *Revista Bio Ciencias*, 8, Article e1095. <https://doi.org/10.15741/revbio.08.e1095>
- Meixner, M. D., Pinto, M. A., Bouga, M., Kryger, P., Ivanova, E., & Fuchs, S. (2013). Standard methods for characterising subspecies and ecotypes of *Apis mellifera*. *Journal of Apicultural Research*, 52(4), 1–28. <https://doi.org/10.3896/IBRA.1.52.4.05>
- Minaya Mateo, I. D., & Pérez González, I. (2022). *Eficacia de tres formulaciones artesanales a base de ácido oxálico para el control de Varroa destructor en Apis mellifera, en ambiente de Bosque Húmedo* [Tesis de grado, Universidad Nacional Pedro Henríquez Ureña]. Repositorio Institucional RI-UNPHU. <https://repositorio.unphu.edu.do/handle/123456789/4333>
- Mitton, G. A., Meroi Arcerito, F., Cooley, H., Fernández de Landa, G., Eguaras, M. J., Ruffinengo, S. R., & Maggi, M. D. (2022). More than sixty years living with *Varroa destructor*: a review of acaricide resistance. *International Journal of Pest Management*, 1–18. <https://doi.org/10.1080/09670874.2022.2094489>
- Morfin, N., Goodwin, P. H., & Guzman-Novoa, E. (2023). *Varroa destructor* and its impacts on honey bee biology. *Frontiers in Bee Science*, 1, Article 1272937. <https://doi.org/10.3389/fbbe.2023.1272937>
- Moyano Morocho, J. P. (2021). *Eficacia del ácido oxálico mediante tres vías de administración para el control de Varroosis en abejas (Apis mellifera)* [Tesis de grado, Universidad Central del Ecuador]. Repositorio Institucional Universidad Central del Ecuador. <https://www.dspace.uce.edu.ec/entities/publication/adf7caf7-5cf9-4cf9-9015-821c522e909c>
- Parker, R., Melathopoulos, A. P., White, R., Pernal, S. F., Guarna, M. M., & Foster, L. J. (2010). Ecological adaptation of diverse honey bee (*Apis mellifera*) populations. *PLoS ONE*, 5(6), Article e11096. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0011096>
- Polo Corro, J. L., Alvarado Ibañez, J. C., & Valderrama Alfaro, S. M. (2022). Determinación del índice de infestación por *Varroa destructor* en colonias de *Apis mellifera*, en condiciones naturales. *Ambiente, Comportamiento y Sociedad*, 5(1), 55–68. <https://doi.org/10.51343/racs.v5i1.799>
- Rademacher, E., & Harz, M. (2006). Oxalic acid for the control of varroosis in honey bee colonies - a review. *Apidologie*, 37, 98–120. <https://doi.org/10.1051/apido:2005063>
- Ramsey, S. D., Ochoa, R., Bauchan, G., Gulbranson, C., Mowery, J. D., Cohen, A., Lim, D., Joklik, J., Cicero, J. M., Ellis, J. D., Hawthorne, D., & Van Engelsdorp, D. (2019). *Varroa destructor* feeds primarily on honey bee fat body tissue

- and not hemolymph. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 116(5), 1792–1801. <https://doi.org/10.1073/pnas.1818371116>
- Stahlmann-Brown, P., Hall, R.J., Pragert, H., & Robertson, T. (2022). Varroa appears to drive persistent increases in New Zealand colony losses. *Insects*, 13(7), Article 589. <https://doi.org/10.3390/insects13070589>
- Tabafunda, M. J., De Castro, D. T., Pajarillo, R. M. C., Soliba, M. P., Garcia, A. A., Acosta, D. C., & Dangle, E. O. (2023). Efficacy of plant extracts against Varroa mites (*Varroa destructor*) of honey bees (*Apis mellifera* L.). *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences*, 23(5), 38–50. https://innspub.net/download/?target=wp-content/uploads/2024/01/JBES-V23-No5-p38-50.pdf_38616
- Whitehouse, M., Rangel, J., Yousuf, F., Sainsbury, J., & Goodwin, M. (2025). Innovations in Varroa mite management. *Current Opinion in Insect Science*, 68, Article 101343. <https://doi.org/10.1016/j.cois.2025.101343>