



Facultad de Veterinaria
Universidad Zaragoza



Trabajo Fin de Grado en Veterinaria

Estrategias de control y manejo de *Varroa destructor* en la
apicultura

Control and management strategies for *Varroa destructor* in
apiculture

Autor

Julia Pacheco Mengual

Directores

Ignacio Ruiz Arrondo

Paz Peris Peris

Facultad de Veterinaria

2024-2025

ÍNDICE

1. RESUMEN.....	2
1.1 ABSTRACT.....	2
2. INTRODUCCIÓN: <i>VARROA DESTRUCTOR</i> UN PROBLEMA EN LA APICULTURA.....	3
2.1 DESCRIPCIÓN DEL ÁCARO Y SU CICLO DE VIDA	4
2.2 IMPACTO DE <i>VARROA</i> EN LA SALUD DE LAS ABEJAS.....	6
3. JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS	7
4. METODOLOGÍA.....	7
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	8
5.2 DIAGNÓSTICO.....	9
5.3 MÉTODOS DE CONTROL DE <i>VARROA DESTRUCTOR</i>	13
5.3.1 Estrategias de manejo.....	13
5.3.2 Tratamientos físicos.....	14
5.3.3 Control biológico.....	15
5.3.4 Tratamientos químicos	16
5.3.4.1 Acaricidas y Resistencias.....	16
5.3.4.2 Compuestos orgánicos.....	18
5.3.4.3 Otros compuestos	25
5.3.5 Selección Genética.....	26
5.3.6 Técnicas de RNA.....	30
5.3.7 Manejo integrado de plagas	31
6. CONCLUSIONES.....	33
7. VALORACIÓN PERSONAL.....	34
8. BIBLIOGRAFÍA.....	36

1. RESUMEN

Varroa destructor es actualmente el parásito de mayor relevancia para la abeja doméstica (*Apis mellifera*) tanto por el daño que ocasiona a los individuos como por su capacidad para provocar el colapso de las colmenas. Además, actúa como vector de diversas patologías, lo que agrava aún más su impacto y genera pérdidas millonarias en el sector apícola a nivel mundial. A día de hoy, todavía no se ha encontrado un tratamiento frente a este parásito, ya que los métodos de control disponibles presentan limitaciones en cuanto a su efectividad. A esto se suman otros desafíos relevantes, como la aparición de resistencias por parte del parásito ante ciertos principios activos y la necesidad de evitar la presencia de residuos en los productos apícolas finales.

1.1 ABSTRACT

Varroa destructor is currently the most important parasite for the domestic bee (*Apis mellifera*) both for the damage it causes to individuals and for its ability to cause the collapse of hives. In addition, it acts as a vector for various pathologies, which further aggravates its impact and generates millions in losses in the beekeeping sector worldwide. To date, a treatment against this parasite has not yet been found, as the available control methods have limitations in terms of their effectiveness. In addition to this, there are other relevant challenges, such as the appearance of resistance by the parasite to certain active ingredients and the need to avoid the presence of residues in the final bee products.

2. INTRODUCCIÓN: *VARROA DESTRUCTOR* UN PROBLEMA EN LA APICULTURA

Actualmente la apicultura se enfrenta a varios problemas, entre los cuales destaca la infestación por *V. destructor*, un ácaro parasitario que ha tenido un profundo impacto en las poblaciones de abejas. Su huésped original, la abeja melífera oriental (*Apis cerana*) tiene cierta resistencia a *V. destructor* debido a una relación huésped-parásito prolongada y bien establecida. Como consecuencia, *A. cerana* rara vez se ve gravemente afectada por este ácaro. Sin embargo, la abeja melífera europea (*Apis mellifera*) se convirtió en un anfitrión de *Varroa destructor* a mediados del siglo XX llegando a Europa en la década de 1970, por tanto, tiene poca tolerancia a la infestación. A diferencia de la abeja melífera oriental, la abeja melífera europea muestra niveles subóptimos de comportamientos de aseo e higiene que limitan la infestación. Además, los ácaros se alimentan y reproducen únicamente de larvas de zánganos de abejas melíferas orientales; sin embargo, los ácaros pueden alimentarse y reproducirse tanto de larvas de zánganos como de larvas de obreras en colonias de abejas melíferas europeas. (Warner et al., 2024).

Además del impacto directo, *V. destructor* puede actuar como vector de numerosos patógenos entre los que destacan gran variedad de virus, que han sido señalados como una de las posibles causas del llamado Trastorno del Colapso de las Colmenas (CCD, *Colony Collapse Disorder*). Es un fenómeno que se caracteriza por la desaparición repentina y masiva de las abejas adultas de una colmena, dejando atrás a la reina, cría, y reservas de alimento sin ninguna señal evidente de depredación o enfermedad. Este trastorno fue identificado con especial preocupación a partir de 2006, cuando apicultores de diversas regiones del mundo comenzaron a reportar pérdidas inusualmente elevadas de colonias.

Aunque las causas exactas del CCD aún no se comprenden completamente, se considera que es el resultado de una combinación de factores, entre los que destacan la infestación por *V. destructor*, enfermedades virales, el uso de pesticidas (especialmente neonicotinoides), la desnutrición, el estrés por manejo intensivo y la pérdida de hábitats. La sinergia entre estos elementos compromete gravemente el sistema inmunológico de las abejas, favoreciendo su desorientación, debilitamiento y muerte.

2.1 DESCRIPCIÓN DEL ÁCARO Y SU CICLO DE VIDA

Taxonomía: Reino Animalia; Phylum Arthropoda; Clase Arachnida; Subclase Acari; Superorden Parasitiformes; Orden Mesostigmata; Superfamilia Dermanyssoidea; Familia Varroidae; Género *Varroa*

Morfología:

Varroa destructor es un ácaro con cuerpo aplanado dorsoventralmente, escudo dorsal, placas ventrales y gran dimorfismo sexual: como se observa en la Figura 1, la hembra ($\approx 1,5$ mm) a la izquierda es elipsoidal y de color anaranjado y macho, a la derecha, más pequeño, redondeado y grisáceo. Presentan tres pares de patas bien desarrolladas y dirigidas hacia delante, proporcionalmente más largas en el macho que en la hembra. Es el ácaro más grande conocido en relación al tamaño del huésped, no tiene ojos ni antenas, pero utiliza su par de patas delanteras para detectar olores, temperatura y vibraciones (Traynor et al., 2020).

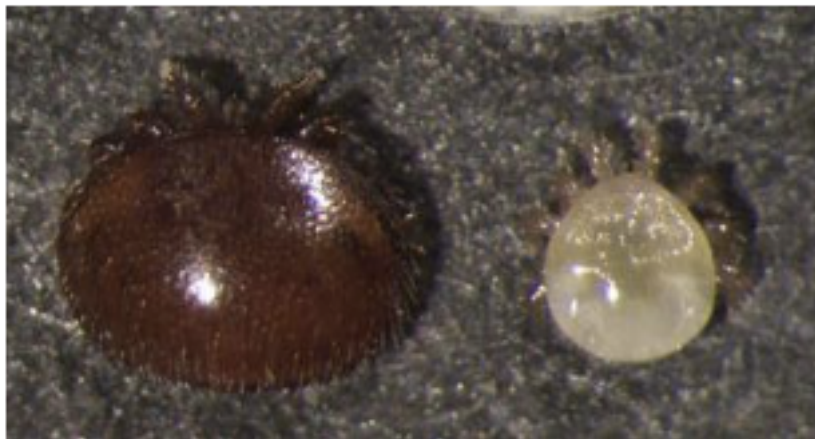


Figura 1: Hembra adulta (a la izquierda) y macho adulto (a la derecha). Fuente: Biology and control of *Varroa destructor*. (Peter Rosenkranz et al., 2010).

Durante la fase forética, *V. destructor* (también llamada “fase de dispersión”) (Traynor et al., 2020), los ácaros adultos se adhieren a las abejas obreras adultas representado en la Figura 2a, preferiblemente a las nodrizas, alimentándose de su hemolinfa y tejido graso. Sin embargo, también puede transferirse entre abejas u otras colonias a medida que las abejas pecorean y/o saquean alimento.

Normalmente la etapa de dispersión suele durar entre 5 y 11 días, aunque durante el invierno o en climas más fríos, puede durar hasta seis meses (Warner et al., 2024).

La etapa reproductiva comienza cuando las hembras adultas de *V. destructor*, conocidas como fundadoras, se infiltran en las celdas de cría antes de su operculación representado en la Figura 2b, (Warner et al., 2024). El ácaro se siente atraído por los compuestos volátiles emitidos por la cría de abeja.

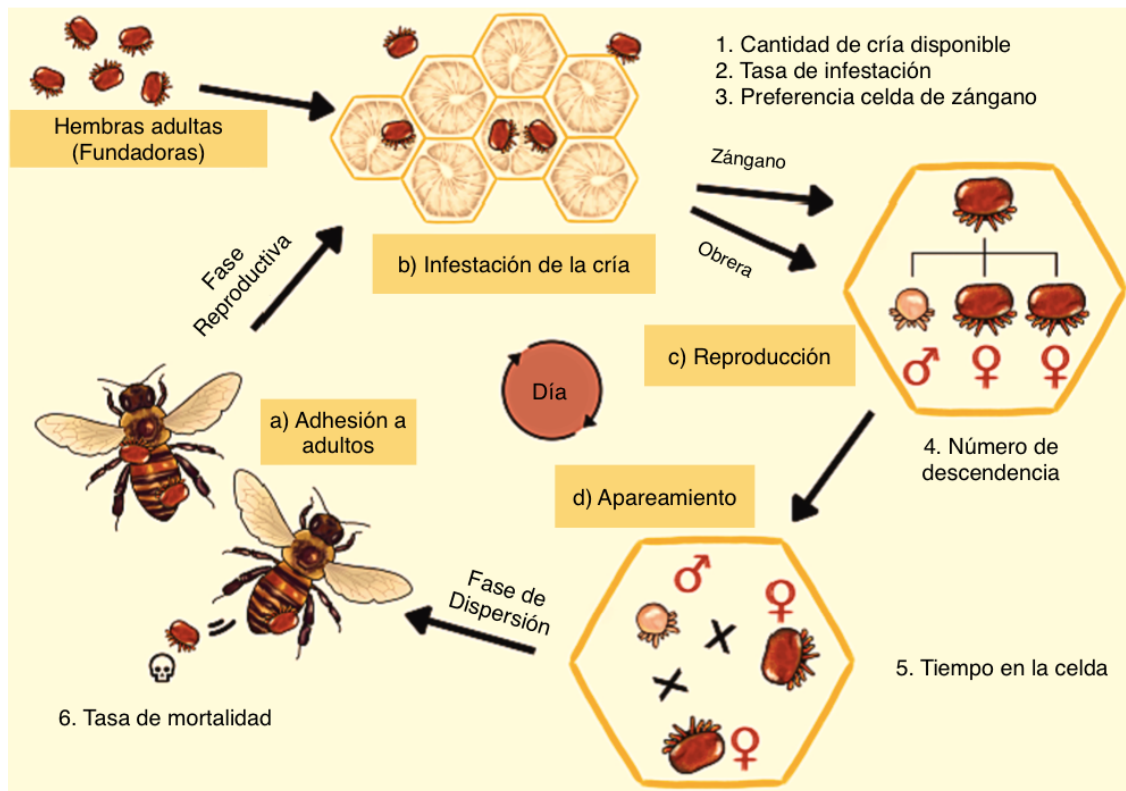


Figura 2: Ciclo de vida de *Varroa Destructor*. Modificado de: Warner et al., 2024.

Una vez que se ha operculado una celda de cría con una fundadora en su interior, ésta se alimentará de la pupa y pondrá su primer huevo, que siempre dará lugar a un macho, dentro de la celda. La fundadora luego pondrá huevos adicionales, todos los cuales serán hembras (Figura 2c). Tras la eclosión de los huevos, las larvas de *V. destructor* completan su desarrollo hasta alcanzar la fase adulta en un periodo de 5-8 días. Posteriormente tiene lugar el apareamiento entre el macho adulto y las hermanas (Figura 2d) que han llegado al estadio de adultas dentro de la celda operculada. El macho muere poco después de copular, sin abandonar nunca la celda. Finalmente, la hembra fundadora y sus hijas viables emergen junto con la abeja huésped, ahora debilitada, marcando el final de la etapa reproductiva (Warner et al., 2024).

2.2 IMPACTO DE VARROA EN LA SALUD DE LAS ABEJAS

A nivel individual el ácaro provoca heridas abiertas en las pupas que pueden desencadenar infecciones bacterianas. Además, al alimentarse del tejido graso de las crías, reduce su peso corporal y puede interferir en el desarrollo adecuado de las glándulas mandibulares e hipofaríngeas resultando más pequeñas (Reams & Rangel, 2022). En el caso de los zánganos, el parásito afecta negativamente la aptitud reproductiva, ya que el número de espermatozoides está directamente relacionado con el tamaño corporal. La infestación conduce a una disminución de la producción de espermatozoides y, por tanto, de su capacidad reproductiva.

Asimismo, los individuos parasitados presentan una tasa metabólica aumentada (Reams & Rangel, 2022), en gran parte debido a la activación del sistema inmune. Dado que los ácaros consumen los cuerpos grasos, fundamentales en la inmunidad de las abejas, se produce un agotamiento de proteínas, carbohidratos y agua, debilitando aún más a los insectos. Por otro lado, *V. destructor* también puede inducir alteraciones neurológicas, lo que provoca cambios en el comportamiento, incluyendo deficiencias en el aprendizaje, desorientación durante el vuelo y dificultad para regresar a la colonia por parte de las pecoreadoras (Noël et al., 2020). Estas alteraciones afectan directamente la eficiencia en la recolección de recursos y, en consecuencia, el desarrollo y sostenibilidad de la colonia. Actualmente se reconoce que *V. destructor* es un importante vector de diversos virus que afectan gravemente a la salud de las abejas. Entre ellos destaca el virus de las alas deformadas (VAD, en inglés: DWV), el cual provoca malformaciones como alas arrugadas, encogidas, decoloración, menor tamaño corporal y reducción de la vida útil de las abejas. También es el vector del virus de la parálisis aguda de las abejas (VPAA, en inglés: ABPV) el cual provoca alas y cuerpo tembloroso, dilatación del abdomen y parálisis progresiva, y del virus de la parálisis crónica de las abejas (VPCA, en inglés: CBPV) que producen temblores y abejas sin pelo y brillantes (Flores et al., 2021). Asimismo, el ácaro transmite el virus de la parálisis aguda israelí (VPAI, en inglés: IAPV) asociado también a temblores e incapacidad para volar y del de la cría ensacada (VCE, en inglés: SBV) el cual impide la ruptura de la cutícula en las larvas bloqueando su transición a la fase de pupas.

De entre todos los virus mencionados anteriormente es menester prestar una especial atención al VAD puesto que *V. destructor* no actúa simplemente como vector mecánico sino como vector biológico al replicarse y modificarse en el ácaro.

Además, dada la situación de inmunosupresión que provoca el ácaro y sus virus asociados, *Nosema apis* y/o *Nosema ceranae*, ambos microsporidios, pueden comportarse como agentes oportunistas ante dicha situación.

3. JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS

Las abejas desempeñan un papel fundamental en la conservación de la biodiversidad y en el mantenimiento de la seguridad alimentaria mundial, gracias a la labor polinizadora, entre otras, de la abeja doméstica (*Apis mellifera*). Sin embargo, en las últimas décadas, el sector de la apicultura se ha visto gravemente amenazado por múltiples factores, siendo uno de los más relevantes la infestación por *V. destructor*. Este ácaro ectoparásito no solo debilita a las abejas al alimentarse de su hemolinfa, sino que también actúa como vector de virus y otros patógenos, incrementando significativamente la mortalidad de las colonias.

El control de *V. destructor* representa, por tanto, un desafío prioritario para la apicultura moderna. A pesar de los esfuerzos realizados, los métodos actuales presentan limitaciones en cuanto a eficacia, sostenibilidad y seguridad alimentaria, debido a la aparición de resistencias a los tratamientos convencionales y a la preocupación por la presencia de residuos en los productos apícolas. Esto pone de manifiesto la necesidad urgente de investigar y optimizar estrategias de control integradas, seguras y eficaces.

En este contexto, el presente Trabajo Fin de Grado se justifica por la importancia de aportar conocimiento actualizado y práctico sobre el manejo y control de *V. destructor*. Por ello, el objetivo de este trabajo es realizar una revisión bibliográfica exhaustiva y actualizada de los métodos con los que se cuenta para combatir a *V. destructor*, evaluando su eficacia, limitaciones y las repercusiones tanto en las abejas como en los productos finales miel, cera, jalea, etc. Todo ello con el fin de proporcionar una visión global que oriente tanto la práctica apícola como futuras líneas de investigación.

4. METODOLOGÍA

Este trabajo se ha desarrollado mediante una revisión bibliográfica, centrada en la recopilación, análisis y síntesis de información científica actualizada sobre el manejo y control de *V. destructor*. La búsqueda de fuentes se realizó utilizando las siguientes bases de datos y buscadores: PubMed, Web of Science, ScienceDirect, Scopus y Alcorze. Se emplearon los siguientes términos de búsqueda: 'Varroa destructor', 'mite control in beekeeping', 'acaricides',

'techniques for Varroa management', 'Varroa control', 'monitoring of Varroa' y 'apiculture integrated pest management' en inglés y español junto con otras herramientas de búsqueda como son los operadores booleanos como (AND) y (OR) para una búsqueda más amplia y específica. Se priorizó la inclusión de artículos publicados en los últimos diez años (2015-2025) para obtener una información actualizada, aunque también se consideraron referencias más antiguas cuando fueron relevantes por su valor histórico. Los criterios de inclusión abarcaron artículos revisados por pares, estudios de campo, ensayos clínicos, revisiones sistemáticas, metaanálisis y capítulos de libros especializados. Las fuentes no científicas, como blogs o sitios web de divulgación, se usaron solo cuando provenían de organismos oficiales o proyectos reconocidos. La información recopilada fue gestionada mediante el software Zotero, que facilitó la organización temática y cronológica de los documentos.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tras la realización de la búsqueda bibliográfica señalada anteriormente se identificaron un total de 321 publicaciones acotando la búsqueda a los años 2015-2025 entre todas las bases de datos ya mencionadas. A continuación, se seleccionó bajo el filtro “free full text” y “full text” para poder tener un acceso completo a los textos y también en el apartado de article type se descartaron las opciones no científicas o universitarias como pueden ser bibliografías, noticias, entrevistas, etc. Como se puede observar en el ejemplo de resultados de búsqueda (Figura 3), existe un aumento del número de publicaciones entre los años 2021 a 2024. Este patrón de resultados se repite en el resto de bases de datos consultadas, Web of Science, ScienceDirect, Scopus y Alcorze.

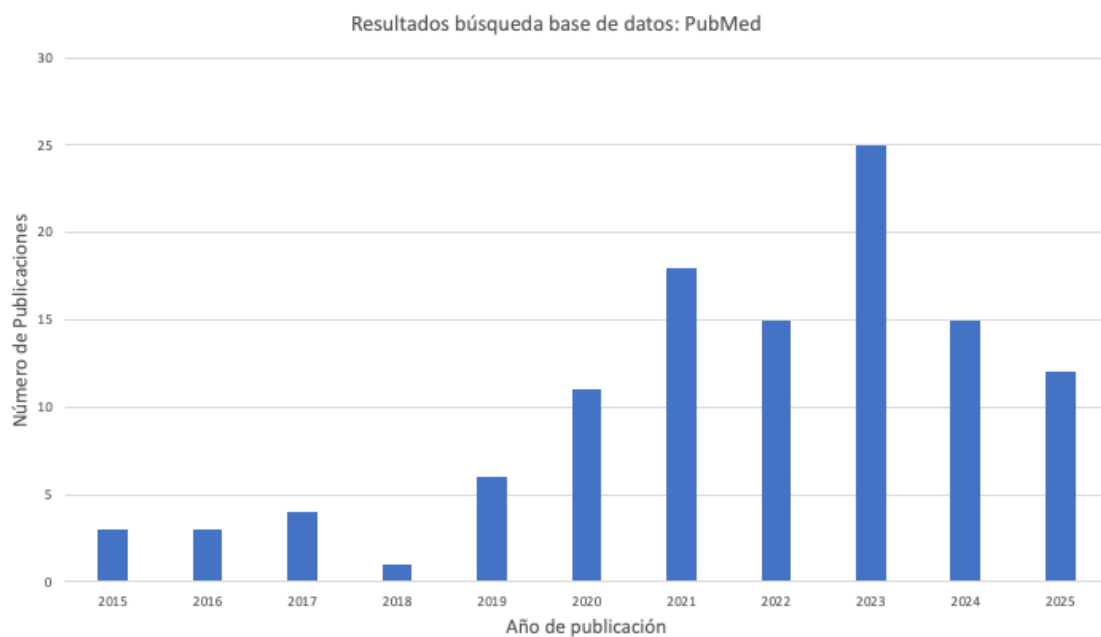


Figura 3: Resultados de búsqueda en la base de datos científica PubMed ordenados por número de publicaciones/año

Después se descargaron las publicaciones cuya información se consideró de interés conforme a la temática que se quería investigar (diagnóstico, control, estrategias de manejo de *V. destructor*) y se agruparon las publicaciones por carpetas siguiendo los apartados del índice del trabajo, y dentro de las mismas por año de publicación. Se usó el gestor bibliográfico Zotero, que además permite realizar citas y referencias bibliográficas en estilo APA.

Finalmente se realizó una lectura y análisis detallado de un total de 81 documentos y se seleccionaron aquellos de interés según la temática de este trabajo.

5.2 DIAGNÓSTICO

Existen diversos métodos para determinar la incidencia de *V. destructor* y el nivel de infestación en las colmenas. Entre los más tradicionales se encuentran:

- i. **La técnica de desoperculación y eliminación**, consiste en abrir celdas operculadas y retirar crías de zángano y obreras usando un rascador u otra herramienta adecuada. Esto permite examinar las pupas y cuantificar el número de ácaros/pupa (Roth et al., 2020). Si bien este método ofrece una observación directa de la infestación, es altamente invasivo, implica la pérdida de cría y resulta laborioso para el apicultor

- ii. **El método del suelo sanitario** (Figura 4) consiste en colocar una lámina de cartón pegajosa con una rejilla debajo del cuerpo inferior de la colmena. Esta recoge los ácaros muertos o caídos, evitando que puedan volver a subir a las abejas. Si el tablero contiene una cuadrícula, se puede hacer una estimación del nivel de infestación según el tipo de cuadrícula utilizada. En el caso de tableros sin patrón específico, se recomienda contar los ácaros caídos después de 24 horas, y considerar el tratamiento si se detectan más de 40 ácaros (Roth et al., 2020). Este sistema suele utilizarse junto con un acaricida para evaluar la eficacia del tratamiento al inducir la caída de los ácaros.



Figura 4: Suelo con fondo sanitario. Fuente: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. (2019). *Guía técnica para la lucha y control de la varroosis y uso responsable de medicamentos veterinarios contra la Varroa*.

A continuación, se detallan tres técnicas que estiman la población de ácaros foréticos sobre abejas obreras.

- iii. La primera es la **técnica del azúcar en polvo**, que es más popular entre los apicultores debido a que no es letal, ni para las abejas adultas ni para las crías y, además, estimula las conductas de acicalamiento. El procedimiento consiste en recolectar aproximadamente 200 adultas, colocarlas en un frasco con tapa de malla (Figura 5), y espolvorearlas con 1 o 2 cucharadas de azúcar en polvo. Tras agitar el frasco durante un minuto y dejarlo reposar otro minuto, se invierte el recipiente para sacudir y contar los ácaros desprendidos (Figuras 6 y 7) (Roth et al., 2020).



Figuras 5, 6 y 7: respectivamente: Bote con rejilla para la toma de muestras en el lavado con azúcar en polvo y *V. destructor*, ácaros desprendidos tras agitar el frasco y finalmente abejas impregnadas en azúcar en polvo tras el agitado. Fuente: Journal of Apicultural Research, 2013.

- iv. Otro método es el uso **“del rollo de éter”** que implica la captura de entre 100 y 300 abejas en un frasco de vidrio. A estas se les rocía durante 2 segundos con éter dietílico, lo que provoca la muerte de las abejas y ácaros tras agitar el frasco durante 10 min. Posteriormente se sumergen en etanol para facilitar la separación y recuento de los ácaros. La tasa de infestación se calcula por número de ácaros por abejas muestreadas (Roth et al., 2020).
- v. Finalmente, **el lavado con alcohol** también puede aplicarse a muestras similares, aunque implica la muerte de todas las abejas muestreadas, permitiendo examinar cada individuo y obtener datos fiables sobre la tasa de infestación.

Gracias al rápido avance de la tecnología investigadores de todo el mundo están desarrollando herramientas innovadoras para facilitar el monitoreo de las colonias por parte de los apicultores.

- vi. Por ejemplo, en el reciente estudio de Hall et al. (2023), utilizan **acelerómetros para detectar y monitorizar el movimiento** de *V. destructor* dentro de la colmena. Los acelerómetros son pequeños dispositivos que miden las vibraciones y generan una señal eléctrica proporcional a la aceleración que experimentan. En su investigación los autores, demuestran que es posible caracterizar “los pulsos de marcha”, es decir, el patrón de vibración producido cuando el ácaro camina por el panel, mediante una base de datos alimentada con un algoritmo de aprendizaje automático. Esto permite identificar la presencia de *V. destructor* pudiendo discriminar entre la señal generada por un ácaro caminando sobre el panel y la de una abeja emergiendo de su celda, gracias a que ambos presentan bandas de frecuencia distintas al desplazarse. Además, el uso de

esta tecnología permite identificar patrones y tendencias en la actividad de la colmena, posibilitando la emisión de alertas tempranas ante eventos relevantes, como la aparición de enjambres.

Entre las principales ventajas de esta metodología destaca el hecho de ser un sistema de vigilancia no invasivo, lo que minimiza las alteraciones en la colonia. Además, representa una solución cómoda para el apicultor puesto que es una práctica automatizada e informatizada. Los acelerómetros se instalan en las tablas inferiores de las colmenas, donde pueden permanecer en la colmena a largo plazo, manteniéndose plenamente funcionales sin necesidad de protección frente a la propolización. Gracias a su reducido tamaño (1000 mm³), y al hecho de que la colonia construye panales de forma natural sobre ellos (incluso panales con cría), la presencia de estos sensores no parece interferir significativamente en el comportamiento de la colonia (Hall et al., 2023). Además, esta tecnología permite registrar datos de forma continua y prolongada, lo que favorece una monitorización más exhaustiva.

No obstante, entre las desventajas se encuentra su elevado coste, lo que actualmente la hace poco accesible para la mayoría de los apicultores. Por otro lado, esta tecnología aún presenta limitaciones en la detección del movimiento del ácaro dentro de celdas operculadas. Esto se debe a la baja sensibilidad de los acelerómetros ante los movimientos muy sutiles de *V. destructor* en ese entorno, donde el espacio es reducido y el movimiento queda amortiguado por los tejidos blandos de la pupa. Por tanto, su utilidad se restringe, por el momento, a la fase forética del ácaro.

- vii. Otras ramas de desarrollo tecnológico se centran en la **imagenología como herramienta de monitoreo apícola**. Un ejemplo es el estudio de Bilik et al. (2021), evaluaron distintos tipos de detectores de movimiento con el objetivo de distinguir entre las abejas parasitadas de las que no. Para ello, emplearon algoritmos de aprendizaje automático y software avanzado, capaz de procesar en tiempo real los datos, permitiendo al apicultor visualizar los resultados al instante, sin necesidad de conexión a servidores remotos. Este sistema también puede aplicarse a otras tareas de inspección automatizada como la detección de la entrada de polen, identificación de avispas o clasificación de zánganos. A diferencia de otros enfoques que se limitan al análisis posterior de imágenes capturadas, esta tecnología permite una clasificación inmediata, identificando de forma separada abejas, ácaros y abejas infectadas.

Siguiendo esta misma línea Sevin et al. (2021) desarrollaron un dispositivo acoplable a la entrada de la colmena, compuesto por túneles de paso individual para las abejas y una cámara de detección con enfoque automático. Este sistema se complementa con una interfaz integrada de procesamiento de imágenes previamente entrenada para detectar las abejas infestadas de las que no, llegando a una eficacia del 80%. La energía del dispositivo fue proporcionado por paneles solares sostenibles y ecológicos y baterías de energía colocadas cerca de las colmenas. Además, se diseñó una conexión de red similar a Wi-Fi y un software de aplicación móvil fácil de usar para la alerta temprana de los apicultores en caso de infestación. Todos los sistemas fueron diseñados para ser compatibles con el almacenamiento en la nube e incorpora tecnología inteligente 5G (Sevin et al., 2021).

Estos dos últimos sistemas mencionados tienen mucho desarrollo por delante para poder ser económicamente accesibles al apicultor y deben desarrollar un buen software entrenado para aumentar la eficacia y precisión del sistema para ser funcionales en los diferentes escenarios donde se encuentran las colmenas. Sin embargo, son buenas promesas para facilitar la monitorización y evaluación de las infestaciones por *V. destructor*, así como realizar una detección temprana que permitan la adopción de medidas tempranas.

5.3 MÉTODOS DE CONTROL DE *VARROA DESTRUCTOR*

5.3.1 ESTRATEGIAS DE MANEJO

Las técnicas de manejo ayudan a reducir las infestaciones por *Varroa*, no implican la aplicación de ningún producto simplemente un conocimiento del ciclo del ácaro y una buena gestión de las colmenas. Aunque estas medidas pueden ayudar a disminuir la carga del ácaro por si solas no bastan para el control de este, por ello se suelen usar en combinación con otros métodos de control.

Entre las estrategias más utilizadas se encuentra la eliminación de la cría de zángano, ya que *Varroa* siente más atracción por este tipo de celdas. Por tanto, es posible disminuir la carga parasitaria eliminándolas. Otra opción consiste en usar un marco con celdas de zángano en la zona de cría; la reina pondrá huevos de zángano en ellas y una vez operculadas se pueden retirar o congelar para eliminar tanto los ácaros, como las pupas. Posteriormente, se devuelven a la colmena para que las abejas eliminen los restos (Jack & Ellis, 2021). Sin embargo, solo se puede usar cuando hay cría zángano (primavera y verano) y requiere mucha carga de trabajo para el apicultor.

La interrupción artificial de la cría bien ya sea por eliminación de las celdas o por enjaulamiento de reinas, obliga al ácaro a permanecer en fase forética o de dispersión, dado que no existen crías en las celdas donde pueda ocultarse y llevar a cabo la fase reproductiva. Por tanto, *Varroa* queda expuesta y vulnerable a los tratamientos químicos durante esta fase forética. La eliminación total de la cría elimina inmediatamente todos los ácaros, así como los virus que afectan a las larvas de abejas infestadas. Esta técnica no implica riesgos de rechazo de la reina y permite eliminar grandes cantidades de material infeccioso a la vez.

En el caso del enjaulamiento de reinas, esta reina debe permanecer enjaulada durante 25 días hasta que haya emergido toda la cría de obreras y zánganos, existen efectos secundarios negativos que pueden darse en la colonia, tales como la cría de celdas reales de emergencia. También pueden surgir problemas relacionados con la reina, como su muerte dentro de la jaula, rechazo por parte de la colonia o sustitución tras su liberación (Bubnič et al., 2021).

5.3.2 TRATAMIENTOS FÍSICOS

En este apartado encontramos tanto los métodos más simples como pueden ser una bandeja o tabla inferior con rejilla, para que si los ácaros se caen de las abejas evitar que vuelvan a trepar o invadir las celdas de la cría (Jack & Ellis, 2021), como los más innovadores como pueden ser la irradiación de los ácaros con radiación ultravioleta cercana (UVA).

Silva-Acosta et al. (2024), utilizan la holografía digital, para cuantificar el daño superficial en los ácaros que absorben la radiación electromagnética, demostrando así una inflamación del cuerpo del ácaro y una deformación del escudo anal y genital lo cual podría suponer un impacto directo en la integridad del parásito, con posibles implicaciones para su salud y viabilidad generales. No obstante, se trata de un método que aún se encuentra en fase de estudio.

Otra alternativa disponible que existe desde hace varios años es el tratamiento térmico o hipertermia. Este tratamiento se basa en la diferencia de resistencia al calor entre las abejas y *V. destructor*. Si bien la temperatura óptima para la cría de abejas melíferas se sitúa en torno a los 35 °C para las abejas en desarrollo, las abejas adultas pueden tolerar hasta 45 °C durante períodos breves. En cambio, entre 36,5 y 41 °C pueden afectar significativamente la reproducción del ácaro y las temperaturas entre 41 y 44 °C resultan letales para los adultos del parásito (Sandrock et al., 2024).

Actualmente se están desarrollando nuevos sistemas de hipertermia como los que muestran Porporato et al. (2022) y Sandroock et al. (2024) en sus recientes publicaciones. Estos dispositivos se instalan en el interior de la colmena, permiten calentar los cuadros de forma independiente e incorporan sensores con control remoto, facilitando al apicultor monitorear los parámetros de cada colmena.

No obstante, las investigaciones han demostrado que la hipertermia, por sí sola, no resulta suficiente para controlar los ácaros dentro de límites tolerables (Porporato et al., 2022). Sin embargo, sigue considerándose una estrategia prometedora para combinar con otros tratamientos en el control de *V. destructor*.

5.3.3 CONTROL BIOLÓGICO

El control biológico es una estrategia basada en el uso de un agente vivo para combatir una plaga. En este contexto, se ha intentado identificar potenciales depredadores naturales de *V.destructor*, como *Stratiolaelaps scimitus* (Ácaro Mesostigmata: Laelapidae). Sin embargo, representa un riesgo para la cría ya que se ha observado que en ocasiones *S. scimitus* se alimenta de larvas o huevos de abeja antes que de *V.destructor* (Rondeau et al., 2018).

Otro enfoque de este tipo de control es centrarse en posibles patógenos para el ácaro. En un principio se planteó la hipótesis de utilizar hongos entomopatógenos: *Metarhizium anisopliae* y *Beauveria bassiana*, que ya se habían utilizado con éxito en otras plagas. Estos hongos se propagan por conidios (esporas especializadas). Los experimentos de campo demostraron efectividad frente a los ácaros, aunque desgraciadamente también infectó a la cría y mató abejas adultas (Vilarem et al., 2021).

Las bacterias entomopatógenas como *Bacillus thuringiensis* se utilizan ampliamente como agentes bioinsecticidas en cultivos agrícolas. *Bacillus thuringiensis* es un procariota Gram positivo, presente de forma natural en los cadáveres de los insectos y en la superficie de las hojas. Penetra en el huésped mediante ingestión y produce cristales y toxinas vegetativas con acción insecticida. Un experimento a corto plazo no mostró efectos letales en abejas adultas o larvas, mientras que la exposición crónica al *B.thuringiensis* indujo una mortalidad precoz en las abejas adultas y larvas (Vilarem et al., 2021). La ausencia de estudios de campo no permite, por el momento, considerar el *B.thuringiensis* como un método eficaz contra el ácaro. Además,

aspectos como la posible resistencia y las implicaciones en bioseguridad representan desafíos importantes en su aplicación.

El principal inconveniente de los hongos y bacterias, a pesar de la falta de datos sobre los efectos a largo plazo, reside en la baja especificidad de sus toxinas y en la dificultad para colonizar y sobrevivir en el ecosistema de la colmena. Además, desde una perspectiva filogenética, la abeja y el ectoparásito están relativamente próximos, lo que complica el desarrollo de tratamientos que actúen únicamente sobre *V. destructor* sin afectar a la abeja huésped (Vilarem et al., 2021).

5.3.4 TRATAMIENTOS QUÍMICOS

5.3.4.1 Acaricidas y Resistencias

Los acaricidas también llamados acaricidas duros son compuestos químicos sintéticos, es decir, no se extraen de materias primas naturales (Bubnič et al., 2021). Han tenido una alta popularidad entre los apicultores por su bajo costo y elevada eficacia, en ocasiones hasta un 90%. Los compuestos químicos más comunes son: piretroides sintéticos, organofosforados y formamidas. El primer problema que presentan este tipo de sustancias es que solo son eficaces en la fase forética del ácaro, es decir, cuando está sobre las abejas adultas, pero son ineficaces en la fase reproductiva ya que no son capaces de penetrar en la celda operculada. El segundo inconveniente radica en sus propiedades fisicoquímicas: al ser compuestos lipofílicos y no volátiles tienden a acumularse en miel, pan de abeja, polen y cera. Desafortunadamente, la exposición crónica a estos residuos en los productos apícolas así como la mala dosificación o el uso de formulaciones caseras y la falta de rotación entre principios activos, han propiciado el desarrollo de resistencias en los ácaros frente a estos compuestos.

Además, numerosos estudios destacan los efectos negativos subletales de estos residuos sobre la salud de las abejas, como el deterioro del aprendizaje y la memoria, la reducción de la capacidad reproductiva, y el deterioro del sistema inmunológico (Warner et al., 2024), así como sus posibles interacciones con otros factores estresantes (Jack & Ellis, 2021). Estos efectos subletales abarcan también una menor longevidad, alteraciones en el desarrollo larvario y una reducción de la eficacia de vuelo y orientación (Nazzi & Pennacchio, 2018).

El químico ideal sería aquel que permitiera el control eficaz de los ácaros sin perjudicar a las abejas, que no contaminara los subproductos apícolas, que no contribuyera al desarrollo de resistencias y fuera respetuoso con el medio ambiente (Warner et al., 2024).

Se detalla a continuación el mecanismo de acción de cada uno de los acaricidas empleados actualmente en sanidad apícola.

En el grupo de las formamidinas encontramos el amitraz, cuyo mecanismo de acción se basa en su efecto tóxico mediante la interacción con los receptores de la octopamina involucrados en el sistema nervioso de los insectos. Esta interacción inhibe la neurotransmisión y provoca parálisis en el ácaro (Vilarem et al., 2021). El formato comercializado habitual, es en forma de tiras, que se colocan dentro de la colmena durante 42 días, tiene una eficacia entre el 75 y el 90%. Sin embargo, se han registrado efectos negativos sobre la supervivencia de la cría, la viabilidad del esperma, la función cardíaca de abejas melíferas y su tolerancia a infecciones virales (Jack & Ellis, 2021). Además, algunos apicultores no consideran su precio asequible y preparan formulaciones caseras, lo que ha favorecido al desarrollo de resistencias, fenómeno que se conoce desde hace varios años. Además, se trata de un compuesto corrosivo y tóxico para los aplicadores y los animales: la inhalación de sus vapores y puede provocar daños irreversibles en los ojos y quemaduras en la piel al entrar en contacto con él (Warner et al., 2024).

Cumafós es un organofosforado, que inhibe la acetilcolinesterasa, lo que impide la hidrólisis de la acetilcolina en las sinapsis, impidiendo por tanto la señalización nerviosa. Se comercializa en diversos formatos: tiras, líquido o polvo. En los primeros años de uso, tuvo una alta actividad varrocida pero recientemente se han producido descensos drásticos de su actividad. Se ha propuesto que la reducción de su eficacia está relacionada con el desarrollo de cepas de ácaros resistentes (Gregorc et al., 2022). Además, también presenta efectos negativos: reducen el aprendizaje y la memoria, la supervivencia de la cría y de la reina, así como la viabilidad de esperma y producen muchas respuestas metabólicas en las abejas (Jack & Ellis, 2021).

Dentro de los piretroides encontramos la flumetrina y el fluvalinato o tau-fluvalinato cuyo mecanismo de acción consiste en bloquear el transporte de sodio en los canales dependientes de voltaje por lo que hay aperturas prolongadas del canal, alterándose la neurotransmisión, y por lo tanto, provocando convulsiones en los ácaros, desprendiéndose finalmente del huésped (Jack & Ellis, 2021). Su aplicación en forma de tiras en los marcos de cría durante 6-8 semanas ha demostrado eficacias de más del 90%. A pesar de que este producto presenta una toxicidad baja en las abejas, se han identificado varias mutaciones individuales en el canal de sodio dependiente de voltaje generando resistencias al tau-fluvalinato y a la flumetrina (Bubnič et al., 2021). Los efectos secundarios son el aumento del estrés en los adultos en el caso de la flumetrina; mientras que el tau-fluvalinato reduce supervivencia de las crías y la obtención de

reinas más pequeñas, produce una mayor susceptibilidad frente a los virus, y provoca una reducción del aprendizaje y la memoria (Jack & Ellis, 2021).

5.3.4.2 Compuestos orgánicos

Este tipo de acaricidas denominados “blandos” o químicos orgánicos son compuestos solubles en agua y volátiles, de degradación más rápida, por lo que no se acumulan en los productos. Además, no hay documentados desarrollos de resistencias de los ácaros a este tipo de acaricidas. Una posible explicación es que las sustancias orgánicas actúan de forma inespecífica o en más de un objetivo sobre múltiples dianas biológicas simultáneamente. La acción en más de una diana o por efectos fisicoquímicos hace que sea menos probable que se desarrolle resistencia a estos activos (Bubnič et al., 2021). Muchos de estos compuestos, como el ácido oxálico y el fórmico, se encuentran de forma natural en la miel en concentraciones muy bajas. Aunque, como se explica más adelante su eficacia varía en función de diversos factores en comparación con los acaricidas “duros”, y no por ser orgánicos están exentos de efectos adversos sobre las abejas.

El ácido fórmico inhibe el transporte de electrones en las mitocondrias de *Varroa* mediante la unión a la citocromo c oxidasa; como consecuencia, se cree que la respiración celular se inhibe y el cuerpo se vuelve acidótico (Genath et al., 2021). Está disponible en los siguientes formatos: tabletas, solución líquida o gel, los vapores de ácido fórmico se generan por el calentamiento a una temperatura alta y se liberan en la colmena (Gregorc et al., 2022). Es el único acaricida que mata tanto a los ácaros foréticos como a los reproductivos de las celdas operculadas. Su eficacia del varía del 35 al 75%, debido a que factores como la temperatura ambiental, la cantidad de cría en una colonia y la distancia de la cría al sitio de volatilización del ácido fórmico pueden afectar (Jack & Ellis, 2021). Una consecuencia negativa es que las altas temperaturas pueden provocar muerte de la crías y de las reinas y puede afectar a la memoria de las abejas.

Otro ácido es el oxálico, sin resistencias registradas hasta el momento, mata al entrar en contacto con el ácaro y aumenta el comportamiento de acicalamiento, pero aún no se ha esclarecido el mecanismo de acción. Su eficacia alcanza el 90% o casi 100% cuando no hay cría. Las preparaciones permiten verter, rociar o utilizar cristales que subliman (Jack & Ellis, 2021). El método de sublimación parece provocar la cristalización del ácido en el cuerpo del ácaro, lo que provoca que el ácaro no pueda adherirse a ningún sustrato. Sin embargo, se debe tener precaución ya que las bacterias caracterizadas en *Varroa* demostraron que la microbiota expresa oxalotrofia. Esto les da la capacidad de degradar el ácido oxálico para utilizarlo como fuente de

carbono, confiriendo así resistencias a los ácaros portadores. Por otro lado, el ácido oxálico en dosis altas y subletales puede seguir siendo perjudicial para las abejas provocando efectos negativos en el desarrollo, su comportamiento y afectar a la longevidad de las crías (Jack & Ellis, 2021). El método de administración es en realidad un punto clave y se asociaron tasas de mortalidad más altas con la exposición oral en comparación con la aplicación tópica. A largo plazo en las colonias se observó pérdida de crías y obreras y, a veces, reinas según la concentración utilizada (Vilarem et al., 2021).

Los aceites esenciales son metabolitos secundarios que facilitan el metabolismo principal de las plantas y se utilizan ampliamente para la defensa contra los parásitos. En este sentido, los productos derivados botánicamente han demostrado una amplia gama de actividades biológicas, incluidas la toxicidad, la repelencia y las propiedades reguladoras del crecimiento (Vilarem et al., 2021). Si a ello le sumamos la dificultad o mayor lentitud para crear resistencias frente a estos compuestos además de la amplia variedad de aceites que existen, se convierten en un recurso objeto de numerosos estudios.

El timol es un compuesto natural derivado del aceite de tomillo. Actualmente está disponible en formatos como geles, tabletas y obleas, diseñados para liberar constantemente el principio activo en estado volátil. Su eficacia, al igual que la del ácido fórmico, depende de diversos factores, como la temperatura o la cantidad de cría, por lo que explica que su efectividad oscile entre el 50 y el 80%. Pierde eficacia por debajo de 15°C, mientras que posee mayor rendimiento en un rango de temperaturas entre 20°C y 30°C. Sin embargo, altas temperaturas pueden dañar la cría y afectar negativamente a las reinas (Jack & Ellis, 2021). No se conoce con exactitud el modo de acción, aunque probablemente actúe mediante la unión a los receptores de octopamina o GABA (Jack & Ellis, 2021). No obstante, su acumulación en la cera puede generar efectos subletales en las abejas. Según Vilarem et al. (2021), se han observado consecuencias como una menor tasa de supervivencia larval, retraso en la expresión de vitelogenina y alteraciones en la memoria de las abejas. El timol puede unirse a los receptores de dopamina, lo que genera irritación en las abejas y puede modificar el sabor de la miel. Como efecto positivo se ha visto que provoca un mayor comportamiento higiénico de las abejas.

Estudios de laboratorio han demostrado que los aceites de ajo, clavo y mentol provocan una mortalidad de 87%, 96% y 100% respectivamente. Quizás el principal obstáculo para lograr altos niveles de control constante de ácaros, independientemente de la ubicación o las condiciones climáticas, es la falta de métodos de administración eficientes y formulaciones que liberen dosis

constantes de los aceites (Jack & Ellis, 2021). Otros ensayos demostraron que en el campo el aceite de ajo mató al 73% de ácaros y el aceite de orégano mató al 97% con vaporizadores eléctricos, pero hace falta más investigación para considerarlos varrocidias.

Elsadi et al. (2024), usaron 9 aceites volátiles a diferentes concentraciones, en condiciones de laboratorio, para ver si tenían buena eficacia acaricida contra *Varroa*. Los resultados del tratamiento de los aceites sobre las abejas obreras mostraron que el porcentaje de abejas muertas tras 48 horas de tratamiento fue muy bajo. Todos los aceites fueron eficaces para matar a los ácaros. La tasa de mortalidad de varroa osciló entre el 45% y el 80%. El que tuvo mayor efecto en la mortalidad de *Varroa* fue el de melón amargo (*Citrullus colocynthis*) 80%, el aceite de tomillo (*Thymus vulgaris*) 76% y el ajo (*Allium sativum*) 72%. El siguiente paso es evaluarlos en condiciones de campo.

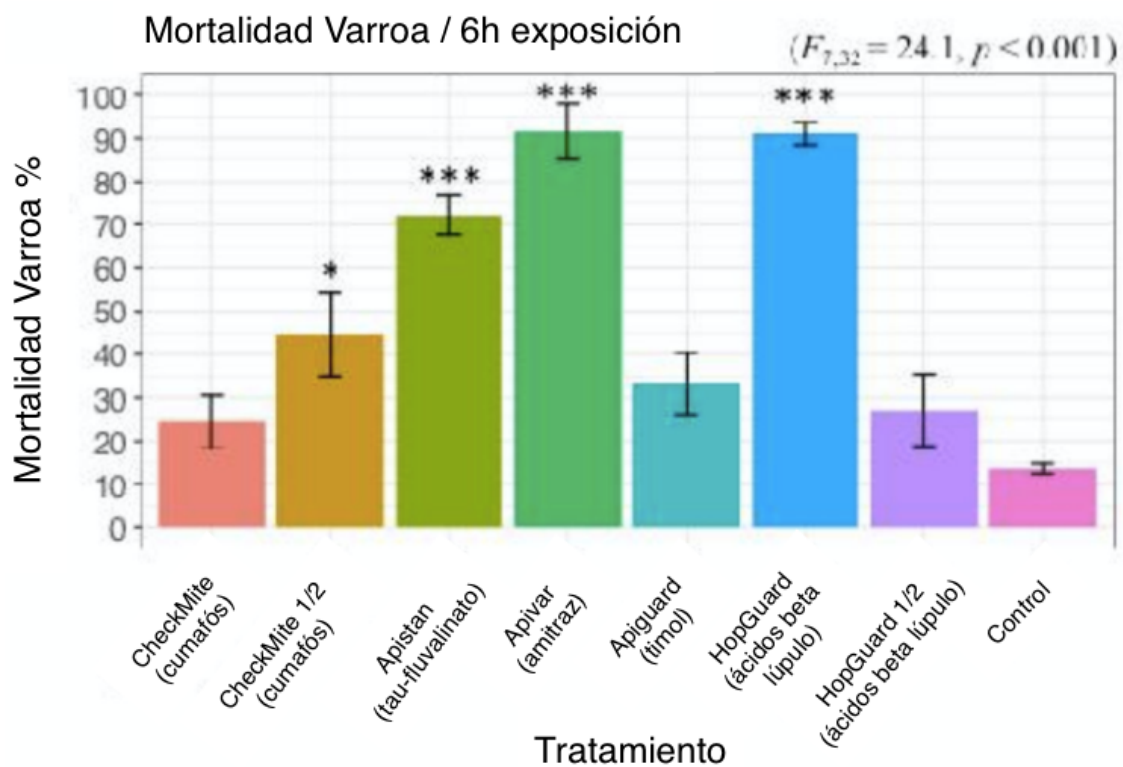
Narciso et al. (2024) también realizaron un estudio de campo, donde se colocaron jarabes azucarados enriquecidos con aceites esenciales a las abejas. Se emplearon cuatro aceites distintos: aceite esencial de canela, aceite esencial de orégano, una mezcla 1:1 de cada y otro con zumo de frutas, tres veces a intervalos de 10-14 días. Los aceites de canela y orégano demostraron ser tóxicos para los ácaros e inofensivos para las abejas in vitro. Aunque los resultados obtenidos en condiciones de campo no mostraron una eficacia significativa en el control del ácaro.

Los aceites esenciales derivados de la especie vegetal *Humulus lupulus* también conocidos como ácidos beta del lúpulo, se aplican en tiras de cartón y no son dependientes de la temperatura, no son tóxicos para humanos y tiene baja toxicidad para las abejas. Su eficacia oscila entre el 43 y 64%, solo están disponibles en EE. UU y Canadá (Jack & Ellis, 2021). Iglesias et al. (2022) en su investigación fue más allá analizando la actividad biológica de los hidratos (un subproducto de la obtención de aceites esenciales por hidrodestilación) de diferentes flores de esta especie vegetal para conocer su acción acarida. En el ensayo in vitro se demostró que efectivamente tenían una alta capacidad acaricida, nula toxicidad en abejas adultas y muy baja toxicidad en las larvas de las abejas.

Gregorc et al., (2018), realizaron uno de los estudios más completos de los últimos años ya que emplearon la mayoría de los acaricidas y compuestos orgánicos actualmente disponibles para el control de *V. destructor* y registraron su eficacia contra el ácaro y la toxicidad para las abejas. Los

compuestos evaluados fueron cumafós (CheckMite®), tau-fluvalinato (Apistan®), amitraz (Apivar®), timol (Apiguard®) y ácidos beta de lúpulo (HopGuard®).

La primera parte del estudio se realizó en el laboratorio con grupos de abejas enjauladas. Durante las primeras 6 h de exposición a los compuestos (Figura 8), amitraz (Apivar®) y ácidos beta de lúpulo (HopGuard®) provocaron la mayor mortalidad de *Varroa*. Pasadas las primeras 24h se observó que la mayor mortalidad de ácaros registrada (Figura 9) fue producida por los ácidos beta de lúpulo (HopGuard®) seguido del cumafós (CheckMite®) y timol (Apiguard®).



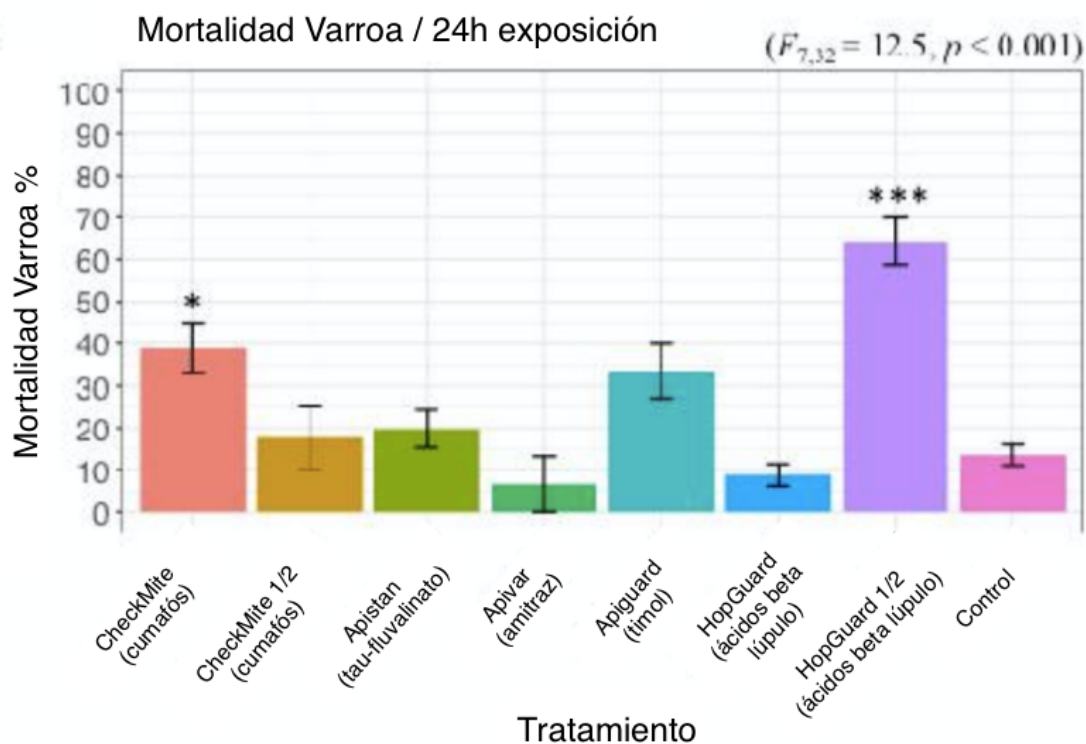


Figura 8 y 9: Gráficas estadísticas de la mortalidad de los ácaros *Varroa* que se registró en cada grupo de abejas enjauladas a intervalos de 6 y 24h. Los grupos se expusieron a CheckMite® dosis completa, CheckMite® 1/2 dosis, Apistan®, Apivar®, Apiguard®, HopGuard a dosis completa, HopGuard® 1/2 dosis, o se dejaron sin tratar (grupo de control). Modificado de Gregorc et al. 2018.

En cuanto a la mortalidad de las abejas (Figura 10) fue mayor con los ácidos beta de lúpulo (HopGuard®) y cumafós (CheckMite®) a una dosis completa, siendo menor en las colonias tratadas con cumafós (CheckMite®) a la mitad de la dosis, amitraz (Apivar®) y timol (Apiguard®).

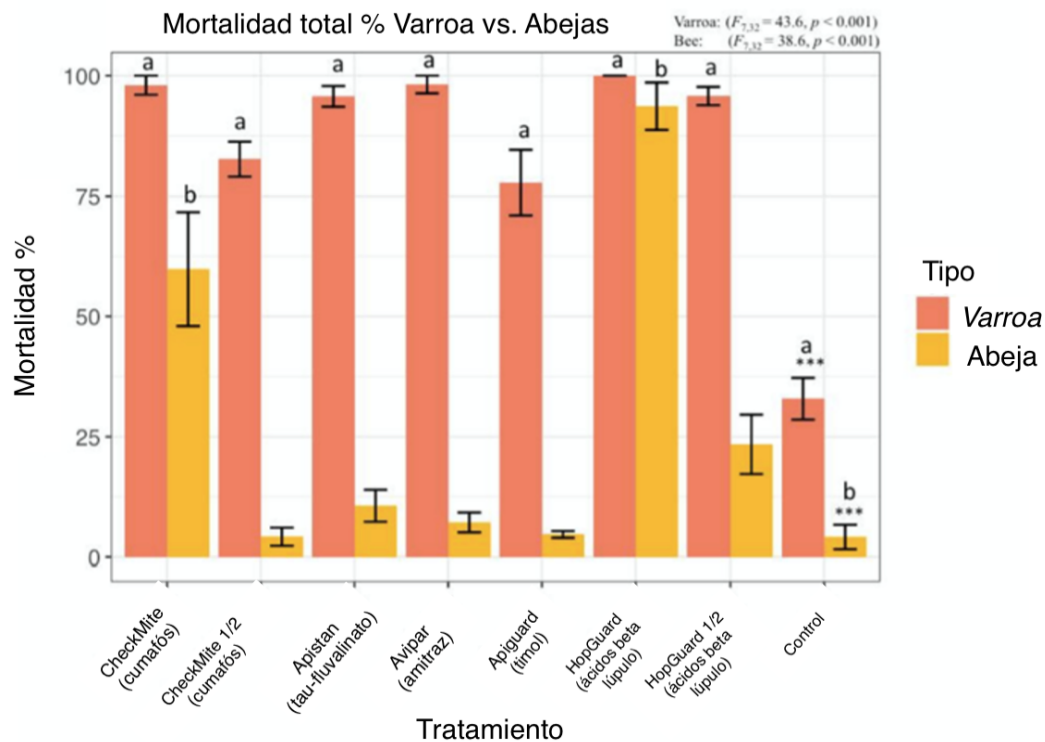


Figura 10: Diagrama de barras comparativo entre la mortalidad total de los ácaros *Varroa* y las abejas enjauladas después de 48 h de exposición a dosis completa de CheckMite®, 1/2 dosis de CheckMite®, Apistan®, Apivar®, Apiguard®, dosis completa de HopGuard®, 1/2 dosis de HopGuard® y ningún acaricida (grupo control). Modificado de Gregorc et al. 2018.

El estudio también se trasladó a condiciones de campo (Figura 11). Se registraron eficacias relativas de 86%, 84%, 79% y 64%, para el timol (Apiguard®), tau-fluvalinato (Apistan®), amitraz (Apivar®) y los ácidos beta de lúpulo respectivamente (HopGuard®), por tanto, las mayores reducciones de ácaros se consiguieron con timol (Apiguard®) y tau-fluvalinato (Apistan®).

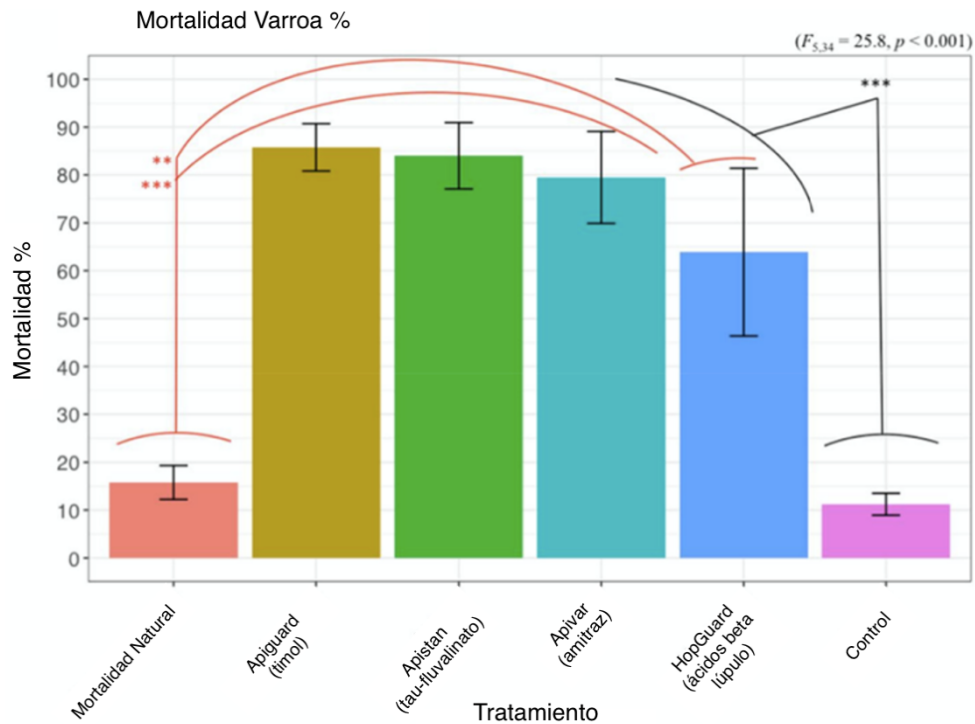


Ilustración 11: Diagrama de barras que ilustra los niveles finales reales de mortalidad de *Varroa*. La "infestación real de varroa" se calculó sobre la base del número total de ácaros *Varroa*, contados de cada colonia al final del experimento. Los niveles de mortalidad por *Varroa* representan las eficiencias relativas de los acaricidas aplicados a las colonias de abejas melíferas en el campo. Modificado de Gregorc et al. 2018.

Finalmente, en la Figura 12 podemos observar una comparación que muestra la diferencia de la eficacia de los compuestos en laboratorio y en condiciones de campo, siendo más marcada sobre todo para los ácidos beta de lúpulo (HopGuard®).

Este estudio demuestra que tanto acaricidas químicos como orgánicos pueden ser eficaces contra el ácaro y expone la diferencia de comportamiento de los principios activos en condiciones de controladas y de campo, lo que supone un reto a la hora de desarrollar nuevos compuestos, además de los efectos nocivos que éstos pueden provocar en las abejas.

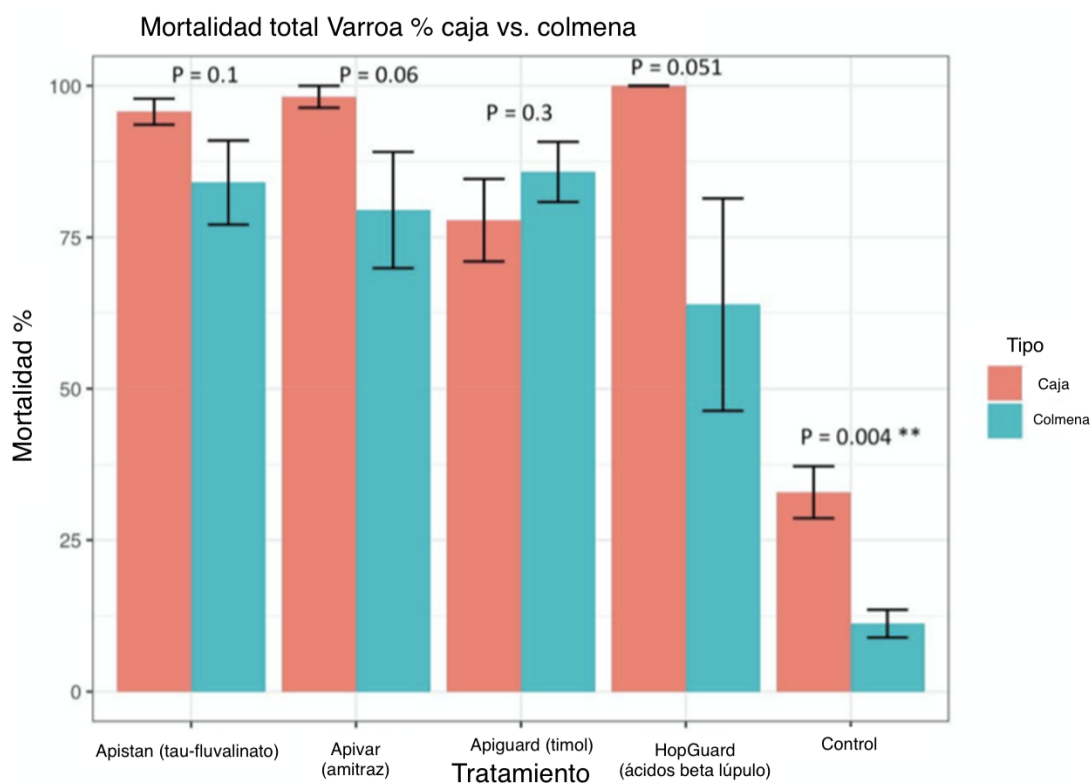


Ilustración 12: Diagrama de barras que ilustra la eficacia relativa comparativa de Apiguard®, Apistan®, Apivar® y HopGuard® aplicados tanto a abejas enjauladas como a colonias de abejas melíferas en condiciones de campo. Modificado de Gregorc et al. 2018.

5.3.4.3 Otros compuestos

Vilarem et al. (2024), realizaron un tratamiento tópico (en condiciones controladas) sobre las abejas parasitadas con ácido láctico. Observaron que las arolias de los ácaros que son almohadillas blandas que se encuentran al final de la estructura pretarsal de los parásitos (también llamadas “carúnculas” en ciertos casos) las cuales utilizan para caminar y agarrarse a los huéspedes, sufrieron modificaciones y daños tras la aplicación del ácido láctico. Estas alteraciones irreparables en las arolias provocan que los ácaros se desprendan irremediamente del huésped. Sin embargo, esta metodología no resultó efectiva si el ácido láctico se administraba vía sistémica para alcanzar al ácaro a partir de la hemolinfa. No observaron aumento del ácido láctico en abejas si se aplicaba en tratamiento tópico.

Futuros proyectos deberían centrarse en el impacto del ácido láctico a largo plazo en las abejas y estudios de campo para evaluar la efectividad del ácido en condiciones de campo.

Otro producto testeado es el cloruro de litio que resultó ser eficaz como acaricida. Kolics et al. (2021), administraron el litio mediante alimentación y observaron como las abejas adultas poseían litio en todas partes del cuerpo a través de la hemolinfa además de poder excretarlo. El litio no parece tener efectos perjudiciales sobre la reina a corto plazo.

Si bien es cierto, que una alta exposición al litio puede afectar negativamente al desarrollo de las larvas y puede haber mayor mortalidad, sin embargo, hay una rápida recuperación de los niveles normales tanto en abejas adultas como en larvas una vez finalizado el tratamiento. Podría ser interesante su aplicación en épocas donde no hay cría. Además, no se detectaron residuos de litio en la cera de abejas.

La miel sin opercular (ósea el néctar sin deshidratar) al principio sí contenía residuos de litio a corto plazo. Sin embargo, con el tiempo sus niveles disminuyeron hasta alcanzar los niveles normales 20 días post-tratamiento (Kolics et al., 2021). Aunque la miel operculada se observó que contenía residuos de litio, esos niveles no son problemáticos para la salud humana y serían los niveles de litio que es posible conseguir con ingesta diaria de alimentos ricos en litio. Para un futuro quizá sería interesante administrar el litio por goteo.

En Grecia, Sofou et al. (2017), realizó un ensayo donde se probó la eficacia del ácido cáustico y su extracto, extraídos de la planta *Ditrichia viscosa*. En las pruebas de campo se demostró que es igualmente efectivo contra *Varroa*, en comparación con otros acaridas comerciales. El ácido cáustico es tiempo-dependiente más efectivo con el paso del tiempo, porque provoca la caída del ácaro de la abeja y no puede sobrevivir mucho tiempo fuera de ella. Además, no es tóxico ni para las abejas ni para los humanos. Más estudios son necesarios para evaluar este ácido en campo.

5.3.5 SELECCIÓN GENÉTICA

La selección genética se ha llevado a cabo en numerosas especies de producción con diferentes objetivos como puede ser aumentar la resistencia a parásitos o enfermedades y el ganado apícola no es una excepción. Durante mucho tiempo se ha intentado seleccionar características fenotípicas que aumenten la resistencia de las abejas a *Varroa*. Las características elegidas son principalmente el comportamiento higiénico y el acicalamiento.

El comportamiento higiénico es la capacidad de las abejas de detectar, desopercular y eliminar la cría infestada o enferma, también puede ser útil en otras patologías como la ascosferosis. En

un principio cuando se empezó a investigar este tipo de resistencia se observó que las colonias poseían poblaciones de ácaros más bajas y no aumentaban su población debido a que las fundadoras no se reproducían y lo denominaron reproducción suprimida de ácaros (SMR) a este rasgo (Mondet et al., 2020). Más tarde se observó que esa baja tasa de reproducción era debida a la eliminación por parte de las abejas adultas de las pupas infestadas disminuyendo así la descendencia del ácaro. Por tanto, el rasgo adoptó finalmente la denominación de higiene sensible a varroa (HVS) pues las abejas son capaces de eliminar pupas infestadas menos de cinco días después del operculado (Sainsbury et al., 2022). El comportamiento higiénico se considera ahora una respuesta inmunitaria social de las abejas melíferas. Este rasgo también se considera moderadamente hereditario, con estimaciones de heredabilidad que varían entre 0,17 y 0,65 (Jack & Ellis, 2021).

Una forma de selección de la colmena es realizar el siguiente procedimiento: Se extrae cría se sacrifica por congelación y se devuelve a la colmena o bien con un alfiler se matan las pupas operculadas de forma que una colonia se considera “higiénica” cuando retira al menos el 95% de la cría muerta en 48 h (Jack & Ellis, 2021).

Por otro lado, los estudios con técnicas de selección genómica han demostrado que las abejas resistentes expresaron diferencias en los genes que regulan la sensibilidad neuronal y el olfato.

Sainsbury et al. (2022), estudiaron la utilización de la selección asistida por marcadores, porque se ha observado que existe un polimorfismo en el cromosoma 9 asociado al HVS. Los genes candidatos en esta ubicación cromosómica están involucrados efectivamente en el olfato, la visión, el aprendizaje y la memoria. Sin embargo, dada la naturaleza poligénica del comportamiento de HVS, no está claro si la selección de un solo marcador genético puede reducir el nivel de *Varroa*. Utilizando reinas homocigotas para el alelo asociado al HVS, los resultados de su estudio indican que, a pesar de la poligenia de HVS, el genotipo HVS de la reina homocigota, permitiendo el apareamiento no controlado con zánganos del entorno natural, es decir, no seleccionados, resultó en una disminución de la infestación de ácaros foréticos en las colonias, pero no tuvo un efecto significativo en el tamaño de la colonia. Aunque se redujo la carga parasitaria aun necesitaron ayuda de los métodos tradicionales para el control.

En estudios actuales basados en la identificación de los genes responsables de esta inmunidad utilizando técnicas como el mapeo de locus de rasgos cuantitativos (QTL), utilizado comúnmente para explicar la función de los genes dentro de regiones identificadas del ADN (Jack & Ellis 2021),

se ha visto que algunos loci están vinculados a más de un rasgo de inmunidad y que es difícil comparar porque hay mucha diversidad entre las poblaciones resistentes, que están en diferentes regiones geográficas y los mecanismos pueden haber evolucionado de forma diferente e independiente según la población. A pesar de las diferencias metodológicas de los estudios sí parecen coincidir en que hay cierta coherencia entre que la sensibilidad neuronal, la transmisión de señales, la percepción sensorial, el olfato, la actividad transportadora, el proceso metabólico y la fosforilación oxidativa están relacionadas con HVS en varios estudios. Esto sugiere que las funciones neuronales y las vías olfativas desempeñan un papel clave en la configuración de la resistencia conductual a la *Varroa*, muy probablemente a través de una mayor capacidad para detectar crías infestadas (Mondet et al., 2020).

Otra de las características más deseadas es el acicalamiento, la capacidad de las abejas de limpiarse a sí mismas, de esta forma pueden herir y mutilar las patas de los ácaros o aplastarlos con las mandíbulas. Aunque su heredabilidad es baja de 0,16-0,49 (Jack & Ellis, 2021). Un ejemplo de selección de esta característica de acicalamiento puede ser el llamado “picador de ácaros”. Esta línea de abejas producida en la universidad de Purdue, Indiana, tiene mayor comportamiento de acicalamiento y presenta cambios estructurales en las mandíbulas, reducen los ácaros en comparación a poblaciones no seleccionadas.

Aunque también es posible realizar la selección de otras características como pueden ser el desoperculamiento y/o reoperculamiento de las celdas de cría por parte de las obreras, ya que se especula que la menor fecundidad en la fundadora de *Varroa* es resultado de la apertura de las celdas de la pupa, lo que provoca cambios de temperatura y humedad dentro de las celdas de la pupa e interrumpe la reproducción de los ácaros (Mondet et al., 2020). Otra característica deseable puede ser la duración del periodo post-operculación. Hay dos subespecies de abejas melíferas occidentales africanas: *Apis mellifera capensis* y *Apis mellifera scutellata* las cuales tienen etapas de cría posteriores al operculado significativamente más cortas que otras subespecies de *Apis mellifera* (Mondet et al., 2020). Estas subespecies son por lo tanto más resistentes a los ácaros ya que no permiten a *Varroa* completar su ciclo.

Otro planteamiento ha sido la selección natural, es decir, interrumpir los tratamientos acaricidas y continuar la cría de las colonias supervivientes que serán más aptas que aquellas que perezcan, de esta forma se mantienen las características de adaptación local de la población lo que permiten que tengan más probabilidades de sobrevivir. Esta aproximación se ha llevado a cabo en Francia, Suecia y EE.UU. Asimismo, es posible importar colonias de zonas donde ya se ha

alcanzado el equilibrio entre parásito y huésped, no obstante, deben de ser capaces de sobrevivir a las condiciones del lugar al que se trasladan debido a que los factores ambientales pueden jugar un papel importante en la supervivencia de las colonias (Guichard, et al., 2023). También es preciso tener en cuenta la bioseguridad en este proceso pudiendo correr el riesgo de introducción de plagas, patógenos y genes extraños en la población local.

Un ejemplo de este tipo de selección, aunque no el único, son las llamadas “abejas rusas” una población de abejas de Primorski, en el extremo oriental de Rusia. Estas abejas habrían estado expuestas al ácaro durante potencialmente 45 a 100 años más que otras poblaciones de abejas *Apis mellifera* en Asia. Los mecanismos de resistencia de las abejas rusas se cree que se deben a un bajo número de cría en la colmena, una reproducción reducida de ácaros como se ha descrito anteriormente puede ser por un alto HVS y/o factores relacionados con la química de las pupas y un desarrollo de la pupa más rápido por lo que el ácaro tiene menos tiempo para la fase reproductiva. Una de las principales desventajas de las abejas melíferas rusas es la alta frecuencia de pérdida de reinas cuando se gestionan comercialmente (Jack & Ellis, 2021).

Este método de selección tiene sus ventajas, en primer lugar, no hay que identificar los rasgos de resistencia o adaptación, por lo tanto, es menos laborioso. En segundo lugar, se pueden seleccionar de forma conjunta múltiples mecanismos para favorecer la supervivencia, lo que puede resultar en poblaciones adaptadas a su entorno natural importante para reintroducir abejas en la naturaleza.

Desgraciadamente también existe una larga lista de desventajas. Es difícil aislar las colonias en las que primero se quiera hacer la selección natural y lo segundo es conservar esa genética, porque continuamente se estará mezclando la genética debido a que la reina se aparee con muchos zánganos. De igual manera si se aislasen colonias no habría contagio de parásitos a otras vecinas para que mueran las más débiles o incluso pueden transmitir niveles muy altos de parásitos a colonias resistentes y matarlas. Por tanto, hay que hacer un mínimo monitoreo con controles y eliminar colonias que no vayan a sobrevivir para evitar que infecte a vecinas resistentes, pero no es posible saber a ciencia cierta si una colonia podría o no haber sobrevivido (Guichard et al., 2023). Desde el punto de vista ético no es correcto y va contra el bienestar animal, además no se pueden translocar las poblaciones resistentes porque no se sabe hasta qué punto son influyentes los factores ambientales en la supervivencia de la colonia, como ya se ha mencionado anteriormente. Finalmente perder colonias y con ellas ingresos, puede no ser rentable para muchos apicultores.

Hay además otra serie de efectos colaterales de esta selección, a largo plazo si las poblaciones que son resistentes a *Varroa* sufren pérdidas y se hacen más pequeñas sufrirán un cuello de botella que podría impedir un establecimiento de asociaciones genéticas que promuevan la resistencia. Además, las poblaciones que queden pueden sufrir endogamia y deriva genética, pueden causar la pérdida de alelos favorables no vinculados a la resistencia o tolerancia al parásito, pero que pueden ser potencialmente beneficiosos para la resiliencia de la población frente a desafíos futuros, como los cambios ambientales o parásitos y patógenos nuevos o actuales (Guichard et al., 2023); lo que implica una limitación en el mantenimiento a largo plazo de una población sana. La selección también podría hacer que *varroa* tuviera más virulencia (por mutación, recombinación o hibridación del parásito) y provocar el colapso de las colmenas.

Otra cuestión a tener en cuenta es que las abejas supervivientes no son necesariamente seleccionadas para la resistencia o tolerancia al ácaro, ya que otras presiones pueden ser el principal impulsor de la selección en una temporada determinada, como pueden ser el clima, los factores nutricionales, otras plagas o enfermedades, etc. Además, el hecho de que una población pueda sobrevivir a *Varroa* no necesariamente hace que sean abejas aptas para la apicultura comercial puesto que características deseables para la producción como alta producción de miel, docilidad, inhibición de la enjambrazón, etc pueden perderse con el tiempo.

5.3.6 TÉCNICAS DE RNA

Este es un método de control diseñado para inhibir la producción de proteínas, llamado interferencia de ARN (RNAi). La RNAi es un proceso natural en las células de muchos organismos que tiene un papel en la regulación de la producción de proteínas. Los genes contienen el código para la producción de proteínas, con copias de este código en forma de ARN mensajero (ARNm), que ordena a la célula que produzca una proteína en particular. El proceso de RNAi es desencadenado por el ARN bicatenario (ARNdc), por tanto, se puede codificar el ARNdc para que los ARNm específicos se degraden antes de que puedan ordenar a la célula que produzca una proteína en particular, inhibiendo así temporalmente la producción de esa proteína (McGruddy et al., 2024).

Los científicos han podido aprovechar este mecanismo de RNAi, utilizando dsRNA para dirigir la producción de proteínas en especies de plagas con efecto letal. Estos tratamientos con dsRNA se pueden aplicar de forma tópica o administrar por vía oral, y como el código de ARNm para la producción de proteínas difiere entre especies, es poco probable que el dsRNA diseñado para

dirigirse a una especie en particular tenga un efecto sobre otras especies en el medio ambiente. McGruddy et al. (2024) en un ensayo laboratorial midieron el efecto de “Vadescana” un biopesticida diseñado para actuar específicamente sobre el gen de la calmodulina en *Varroa*, responsable de codificar la proteína calmodulina, que juega un papel importante la regulación del calcio. El ARN es administrado vía oral, concretamente se administra dsRNA a las abejas en jarabe de azúcar lo que permite que las abejas consuman la solución de Vadescana y la entreguen a las larvas en desarrollo mediante trofalaxis. El biopesticida no mostró impacto en la supervivencia de los ácaros, sin embargo, sí que redujo el número de ácaros pues inhibe el éxito reproductivo de las fundadoras. El tratamiento no afecta a las pupas de abejas o abejas adultas.

También es muy poco probable que el ARNdc intacto consumido por humanos y otros vertebrados produzca efectos no deseados, ya que el ARNdc está presente de forma natural en todos los alimentos y es degradado por el sistema digestivo (McGruddy et al., 2024).

5.3.7 MANEJO INTEGRADO DE PLAGAS

En virtud de la situación actual en la que no es posible un control totalmente efectivo de *V. destructor*, para el futuro control de esta plaga se plantea el llamado manejo integrado de plagas (MIP). El MIP es un enfoque en el que el control está basado en una combinación de técnicas de manejo, genéticas, biológicas, físicas y/o compuestos orgánicos antes que los acaricidas químicos para minimizar los impactos ambientales (Jack & Ellis, 2021). Además, el criterio de elección del tratamiento se basa en la individualidad de la colmena lo que permite ajustar el tratamiento en función del tamaño del colmenar, eficacia del producto, estación, región y preferencia del apicultor, de esta forma se relaja un control más específico (Roth et al., 2020). Con este planteamiento se pretende reducir o evitar el uso de acaricidas químicos para evitar o retrasar el desarrollo de más resistencias, evitar los residuos en los productos apícolas, los efectos negativos en las abejas y los impactos ambientales. Todo ello se traduce en un método más ecológico y sostenible. Esto no implica que los acaricidas químicos estén prohibidos, aunque si es necesario su uso deben rotarse entre diferentes familias químicas para disminuir la probabilidad de crear resistencias.

Por lo tanto, el objetivo del MIP no es eliminar todos los ácaros sino reducir el impacto sobre las abejas (Vilarem et al., 2021) y alcanzar un umbral económico beneficioso para el apicultor gracias a la supervivencia de una tasa aceptable de colmenas, favoreciendo así la conservación

de poblaciones locales. Además, de esta forma se permite el contacto de la abeja con el ácaro, aunque en una menor carga, fomentando el desarrollo de resistencias a los ácaros por parte de la abeja, ya que el huésped puede desarrollar defensas naturales. Han comenzado a aplicarse protocolos de control basados en el MIP como puede ser, por ejemplo, una interrupción de la cría por enjaulamiento de la reina durante 25 días y un posterior tratamiento con ácido oxálico que muestran resultados prometedores y representan un paso hacia un manejo más equilibrado y ecológico.

6. CONCLUSIONES

1. Ningún tratamiento actual controla completamente a *Varroa destructor*, debido a limitaciones de eficacia, toxicidad, resistencias y condiciones ambientales.
2. Los ácidos orgánicos y aceites esenciales son una alternativa prometedora en el control de *Varroa destructor*, aunque su uso es estacional y limitado por factores como la temperatura.
3. La investigación en el control de *Varroa destructor* se orienta hacia soluciones más sostenibles como la mejora genética, el control por ARN y el desarrollo de nuevos compuestos con menor riesgo de resistencia.
4. El Manejo Integrado de Plagas (MIP) se plantea como la estrategia más viable a largo plazo en el control de *Varroa destructor*, combinando distintos métodos según las condiciones de cada colmenar para lograr un control sostenible y ecológico.

CONCLUSIONS

1. No current treatment completely controls *Varroa destructor*, due to limitations in efficacy, toxicity, resistances and environmental conditions.
2. Organic acids and essential oils are a promising alternative in the control of *Varroa destructor*, although their use is seasonal and limited by factors such as temperature.
3. Research into the control of *Varroa destructor* is geared towards more sustainable solutions such as genetic improvement, RNA control, and the development of new compounds with a lower risk of resistance.
4. Integrated Pest Management (IPM) is proposed as the most viable long-term strategy in the control of *Varroa destructor*, combining different methods according to the conditions of each apiary to achieve sustainable and ecological control.

7. VALORACIÓN PERSONAL

La principal aportación que he obtenido de este trabajo es el conocimiento de manera profunda y actualizada sobre la temática propuesta que de otra forma probablemente no hubiera conseguido. Gracias a la elaboración de esta memoria ahora soy consciente de la problemática actual de este parásito en *Apis mellifera*, una especie de un alto valor, no solo desde el punto de vista ganadero y económico a nivel mundial, sino también desde el medioambiental gracias a su papel como polinizadoras. Además, de conocer y aprender sobre las herramientas que existen actualmente y cuan eficaces son en esta lucha con el parásito. También he podido comprobar en que punto está actualmente y hacia donde se dirige la investigación futura y que dificultades se plantean en el desarrollo de nuevas estrategias de tratamiento. Además, para la realización del trabajo he aplicado una vez más habilidades de búsqueda, filtrado y gestión de la información, así como la mención y reconocimiento adecuado a los autores que previamente publicaron dicha información.

Además de lo expuesto en el párrafo anterior creo sinceramente que hoy en día la realización de este trabajo personalmente es obsoleta. Considero que no aporta ninguna habilidad útil al estudiante para su salida al mercado laboral, respecto a lo que le va a ser exigido en su puesto de trabajo. Segundo, no creo que estos trabajos permitan al alumno demostrar e integrar los conocimientos obtenidos durante el grado. Tercero, en la sociedad actual con el rápido desarrollo rápido de la IA y otras tecnologías estos trabajos dejarán de tener valor en el futuro, puesto que lo que el alumno tarda meses en hacer, la IA podrá hacerlo en minutos.

Honestamente yo eliminaría este trabajo y las horas destinadas a él las traspasaría a más horas de prácticas en empresas. De esta forma el estudiante tiene más tiempo para desarrollar práctica en todos los procedimientos estudiados y aplicar los conocimientos del grado. También es posible dividir el tiempo de prácticas entre varios sectores para que el estudiante pueda experimentar diferentes ramas de trabajo del veterinario, especialmente útil para aquellos alumnos que tengan dudas sobre que vertiente escoger al acabar el grado, dándole la oportunidad de experimentar y tener una visión cercana de cada sector. Por otro lado, permite al estudiante entrar en contacto con las diferentes empresas y otros profesionales del sector, ver diferentes formas de trabajo de los profesionales con los que se relacione y permite hacer contactos y conocer futuras opciones de formación o puestos de trabajo. Otra parte importante es conocer la realidad de cada sector fuera de la facultad y aprender habilidades que no se

desarrollan en la facultad como por ejemplo el trato con el cliente, la resistencia a antibióticos, aplicación de legislación, trabajar con recursos limitados, etc.

Termino mi reflexión con una frase de mi profesor de matemáticas del instituto que considero que ajusta muy bien a este conflicto: 'El tiempo es mi enemigo, ni se compra ni se devuelve'- Jaime Arias.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Traynor, Kirsten S., Fanny Mondet, Joachim R. De Miranda, Maeva Techer, Vienna Kowallik, Melissa A.Y. Oddie, Panuwan Chantawannakul, y Alison McAfee. «Varroa Destructor: A Complex Parasite, Crippling Honey Bees Worldwide». *Trends in Parasitology* 36, n.º 7 (julio de 2020): 592-606. <https://doi.org/10.1016/j.pt.2020.04.004>.
- Warner, Summer, Lok R. Pokhrel, Shaw M. Akula, Chukwudi S. Ubah, Stephanie L. Richards, Heidi Jensen, y Gregory D. Kearney. «A Scoping Review on the Effects of Varroa Mite (Varroa Destructor) on Global Honey Bee Decline». *Science of The Total Environment* 906 (enero de 2024): 167492. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.167492>.
- Noël, Amélie, Yves Le Conte, y Fanny Mondet. «Varroa Destructor: How Does It Harm Apis mellifera Honey Bees and What Can Be Done about It?» Editado por Alison Scott-Brown y Hauke Koch. *Emerging Topics in Life Sciences* 4, n.º 1 (2 de julio de 2020): 45-57. <https://doi.org/10.1042/ETLS20190125>.
- Reams, Taylor, y Juliana Rangel. «Understanding the Enemy: A Review of the Genetics, Behavior and Chemical Ecology of *Varroa Destructor*, the Parasitic Mite of *Apis mellifera*». Editado por Margarita Lopez-Uribe. *Journal of Insect Science* 22, n.º 1 (1 de enero de 2022): 18. <https://doi.org/10.1093/jisesa/ieab101>.
- Flores, José M., Victoria Gámiz, Ángeles Jiménez-Marín, Alicia Flores-Cortés, Sergio Gil-Lebrero, Juan J. Garrido, y María Dolores Hernando. 2021. «Impact of Varroa Destructor and Associated Pathologies on the Colony Collapse Disorder Affecting Honey Bees». *Research in Veterinary Science* 135 (marzo):85-95. <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2021.01.001>.
- Roth, Morgan A, James M Wilson, Keith R Tignor, y Aaron D Gross. 2020. «Biology and Management of Varroa Destructor (Mesostigmata: Varroidae) in Apis mellifera (Hymenoptera: Apidae) Colonies». Editado por Matthew Messenger. *Journal of Integrated Pest Management* 11 (1): 1. <https://doi.org/10.1093/jipm/pmz036>.
- Hall, Harriet, Martin Bencsik, y Michael Newton. 2023. «Automated, Non-Invasive Varroa Mite Detection by Vibrational Measurements of Gait Combined with Machine Learning». *Scientific Reports* 13 (1): 10202. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-36810-0>.
- Bilik, Simon, Lukas Kratochvila, Adam Ligocki, Ondrej Bostik, Tomas Zemcik, Matous Hybl, Karel Horak, y Ludek Zalud. 2021. «Visual Diagnosis of the Varroa Destructor Parasitic Mite in Honeybees Using Object Detector Techniques». *Sensors* 21 (8): 2764. <https://doi.org/10.3390/s21082764>.
- SeviN, Sedat, Hidayet Tutun, y Selime Mutlu. 2021. «Detection of Varroa Mites from Honey Bee Hives by Smart Technology Var-Gor: A Hive Monitoring and Image Processing Device». *TURKISH JOURNAL OF VETERINARY AND ANIMAL SCIENCES* 45 (3): 487-91. <https://doi.org/10.3906/vet-2005-89>.

- Bubnič, Jernej, Rudolf Moosbeckhofer, Janez Prešern, Ajda Moškrič, Giovanni Formato, Marco Pietropaoli, Aleš Gregorc, Mustafa Necati Muz, y Maja Ivana Smodiš Škerl. 2021. «Three Pillars of Varroa Control». *Apidologie* 52 (6): 1305-33. <https://doi.org/10.1007/s13592-021-00903-4>.
- Jack, Cameron J, y James D Ellis. 2021. «Integrated Pest Management Control of *Varroa Destructor* (Acari: Varroidae), the Most Damaging Pest of (*Apis mellifera* L. (Hymenoptera: Apidae)) Colonies». Editado por Hongmei Li-Byarlay. *Journal of Insect Science* 21 (5): 6. <https://doi.org/10.1093/jisesa/ieab058>.
- Porporato, Marco, Aulo Manino, Davide Cuttini, Simone Lorenzon, Silvia Ciaudano, y Valerio Parodi. 2022. «Varroa Control by Means of a Hyperthermic Device». *Applied Sciences* 12 (16): 8138. <https://doi.org/10.3390/app12168138>.
- Sandrock, Christoph, Jens Wohlfahrt, Willi Brunner, y Pascal Brunner. 2024. «Efficacy and Trade-Offs of an Innovative Hyperthermia Device to Control Varroa Destructor in Honeybee Colonies». *Journal of Pest Science* 97 (3): 1433-50. <https://doi.org/10.1007/s10340-023-01709-2>.
- Silva-Acosta, José Luis, Tonatíuh Saucedo-Anaya, Fernando Mendoza-Santoyo, María Del Socorro Hernández-Montes, Carlos Guerrero-Mendez, Daniel Gaytán-Saldaña, y Bruno Saucedo-Orozco. 2024. «Effect of Near Ultraviolet Radiation on Varroa Destructor Using Digital Holographic Interferometry». *Applied Sciences* 14 (11): 4938. <https://doi.org/10.3390/app14114938>.
- Rondeau, Sabrina, Pierre Giovenazzo, y Valérie Fournier. 2018. «Risk Assessment and Predation Potential of Stratiolaelaps Scimitus (Acari: Laelapidae) to Control Varroa Destructor (Acari: Varroidae) in Honey Bees». Editado por Olav Rueppell. *PLOS ONE* 13 (12): e0208812. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0208812>.
- Vilarem, Caroline, Vincent Piou, Fanny Vogelweith, y Angélique Vétillard. 2021. «Varroa Destructor from the Laboratory to the Field: Control, Biocontrol and IPM Perspectives—A Review». *Insects* 12 (9): 800. <https://doi.org/10.3390/insects12090800>.
- Gregorc, Ales, Caio Domíngues, Hidayet Tutun, y Sedat Sevin. 2022. «What Has Been Done in the Fight against Varroa Destructor: From the Past to the Present». *Ankara Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi* 69 (2): 229-40. <https://doi.org/10.33988/auvfd.1029296>.
- Genath, Antonia, Hannes Petruschke, Martin Von Bergen, y Ralf Einspanier. 2021. «Influence of Formic Acid Treatment on the Proteome of the Ectoparasite Varroa Destructor». Editado por Olav Rueppell. *PLOS ONE* 16 (10): e0258845. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0258845>.
- Elsadi, Mosbah, Marwan Keshlaf, y Hamida Mirwan. 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. <https://doi.org/10.5455/OVJ.2024.v14.i2.9>.

- Narciso, Laura, Martina Topini, Sonia Ferraiuolo, Giovanni Ianaro, y Cinzia Marianelli. 2024. «Effects of Natural Treatments on the Varroa Mite Infestation Levels and Overall Health of Honey Bee (*Apis mellifera*) Colonies». Editado por Kai Wang. *PLOS ONE* 19 (5): e0302846. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0302846>.
- Iglesias, Azucena Elizabeth, Giselle Fuentes, Giulia Mitton, Facundo Ramos, Constanza Brasesco, Rosa Manzo, Dalila Orallo, et al. 2022. «Hydrolats from *Humulus Lupulus* and Their Potential Activity as an Organic Control for *Varroa Destructor*». *Plants* 11 (23): 3329. <https://doi.org/10.3390/plants11233329>.
- Vilarem, Caroline, Solène Blanchard, Frédéric Julien, Angélique Vétillard, y Vincent Piou. 2024. «Lactic Acid Treatment on Infested Honey Bees Works through a Local Way of Action against *Varroa Destructor*». *Scientific Reports* 14 (1): 27092. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-78371-w>.
- Kolics, Éva, Zsófi Sajtos, Kinga Mátyás, Kinga Szepesi, Izabella Solti, Gyöngyi Németh, János Taller, Edina Baranyai, András Specziár, y Balázs Kolics. 2021. «Changes in Lithium Levels in Bees and Their Products Following Anti-*Varroa* Treatment». *Insects* 12 (7): 579. <https://doi.org/10.3390/insects12070579>.
- Sofou, Kalliopi, Demosthenis Isaakidis, Apostolos Spyros, Anita Büttner, Athanassios Giannis, y Haralambos E Katerinopoulos. 2017. «Use of Cistic Acid, a Natural Extract from *Dittrichia Viscosa*, for the Control of *Varroa Destructor*, a Parasite of the European Honey Bee». *Beilstein Journal of Organic Chemistry* 13 (mayo):952-59. <https://doi.org/10.3762/bjoc.13.96>.
- Sainsbury, James, Tomi E. Nemeth, Maria Baldo, Mateusz Jochym, Crystal Felman, Mark Goodwin, Michael Lumsden, David Pattemore, y Ferenc Jeanplong. 2022. «Marker Assisted Selection for *Varroa Destructor* Resistance in New Zealand Honey Bees». Editado por Wolfgang Blenau. *PLOS ONE* 17 (9): e0273289. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0273289>.
- Mondet, Fanny, Alexis Beaurepaire, Alison McAfee, Barbara Locke, Cédric Alaux, Solene Blanchard, Bob Danka, y Yves Le Conte. 2020. «Honey Bee Survival Mechanisms against the Parasite *Varroa Destructor*: A Systematic Review of Phenotypic and Genomic Research Efforts». *International Journal for Parasitology* 50 (6-7): 433-47. <https://doi.org/10.1016/j.ijpara.2020.03.005>.
- Guichard, Matthieu, Benjamin Dainat, y Vincent Dietemann. 2023. «Prospects, Challenges and Perspectives in Harnessing Natural Selection to Solve the ‘*Varroa Problem*’ of Honey Bees». *Evolutionary Applications* 16 (3): 593-608. <https://doi.org/10.1111/eva.13533>.
- McGruddy, Rose A., Zoe E. Smeele, Brian Manley, James D. Masucci, John Haywood, y Philip J. Lester. 2024. «RNA Interference as a Next-generation Control Method for Suppressing *Varroa Destructor* Reproduction in Honey Bee (*Apis mellifera*) Hives». *Pest Management Science* 80 (9): 4770-78. <https://doi.org/10.1002/ps.8193>.

McGruddy, Rose, John Haywood, y Philip J. Lester. 2024. «Beekeepers Support the Use of RNA Interference (RNAi) to Control Varroa Destructor». *Insects* 15 (7): 539. <https://doi.org/10.3390/insects15070539>.

Gregorc, Aleš, Mohamed Alburaki, Blair Sampson, Patricia Knight, y John Adamczyk. 2018. «Toxicity of Selected Acaricides to Honey Bees (*Apis mellifera*) and Varroa (*Varroa Destructor* Anderson and Trueman) and Their Use in Controlling Varroa within Honey Bee Colonies». *Insects* 9 (2): 55. <https://doi.org/10.3390/insects9020055>.

Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. (2019). *Guía técnica para la lucha y control de la varroosis y uso responsable de medicamentos veterinarios contra la Varroa*. Dirección General de Sanidad de la Producción Agraria, Subdirección General de Sanidad e Higiene Animal y Trazabilidad. https://www.mapa.gob.es/es/ganaderia/temas/sanidad-animal-higiene-ganadera/guiavarroafinalapicultor_tcm30-421798.pdf

Nazzi, F., & Pennacchio, F. (2018). Honey Bee Antiviral Immune Barriers as Affected by Multiple Stress Factors: A Novel Paradigm to Interpret Colony Health Decline and Collapse. *Viruses*, 10(4), 159. <https://doi.org/10.3390/v10040159>